



Paulo Duarte Romão Araújo

Licenciado em Ciências da Engenharia do Ambiente

Promoção da eficiência energética do parque habitacional português

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais

Orientador: Professor Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo, Professor Auxiliar com Agregação, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Júri:	
Presidente	Prof ^a . Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas
Arguente	Doutor Hélder Perdigão Gonçalves
Vogal	Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio de 2017

Promoção da eficiência energética do parque habitacional português

Copyright © Paulo Duarte Romão Araújo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento dedico ao Professor Doutor João Joanaz de Melo, pela disponibilidade e aconselhamento ao longo deste percurso.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia e, mais precisamente, a todos os docentes do Departamento de Ciências em Engenharia do Ambiente, por todos os ensinamentos ao longo dos cinco anos nesta casa.

Á ADENE – Agência para a Energia, por terem disponibilizado o acesso à base de dados do SCE.

À minha família, que são a minha maior motivação, por estarem sempre a meu lado nos melhores e piores momentos e por terem abdicado de tanto para que a mim nunca me faltasse nada.

A todos os meus amigos, não só aqueles que estão hoje comigo, mas a todos com quem partilhei uma brincadeira durante a minha estadia nesta instituição. A todos, o meu muito obrigado!

Resumo

A entrada em vigor do Acordo de Paris, que operacionalizou o compromisso de redução das emissões de gases com efeito estufa, impõe que no curto/médio prazo o sistema energético mundial se torne mais eficiente. A solução passa em grande medida por melhorar a eficiência energética dos vários setores de atividade, entre os quais o maior potencial é o oferecido pelos edifícios.

Em Portugal, o setor dos edifícios consome cerca de 30 % do total de energia consumida, esta destina-se ao aquecimento e arrefecimento do ambiente, preparação de águas quentes sanitárias, iluminação e para os equipamentos elétricos. As medidas que conduzem a um aumento da eficiência energética incluem a introdução ou reforço do isolamento na envolvente, substituição dos equipamentos antigos ou ainda a alteração dos hábitos de consumo de energia.

A presente dissertação foca-se no desafio da promoção da eficiência energética no setor dos edifícios. Esta encontra-se dividida em duas abordagens: a primeira avalia custo-eficácia das medidas de eficiência energética; a segunda visa identificar as motivações, as barreiras e as oportunidades à adoção das medidas de eficiência energética.

Os resultados obtidos demonstram que as medidas de eficiência energética permitem reduzir o consumo de energia primária e emissões equivalentes, contudo, em alguns casos o elevado investimento inicial impede que o investimento seja recuperado no tempo de vida útil do equipamento. O mesmo problema foi identificado nas auditorias energéticas analisadas, concluindo-se que esta é a principal barreira à adoção das medidas.

Para as famílias, o maior potencial de poupança encontra-se na substituição dos equipamentos de climatização e preparação de AQS, com períodos de retorno para as alternativas mais custo-eficazes de 7 e 12 anos, respetivamente. Para atingir este potencial é necessário adotar políticas com melhor relação custo-eficácia, que contemplem os vários instrumentos de regulação, de informação e, principalmente, os económicos.

Palavras-chave: eficiência energética; edifícios; custo-eficácia; barreiras, motivações e oportunidades; instrumentos de promoção.

Abstract

The ratification of the Paris Agreement, which operationalized the commitment to reduce greenhouse gas emissions, requires a more efficient energy system in the short/medium-term. The solution involves improvements in energy efficiency to different sectors of activity, of which buildings have the greatest savings potential.

The building sector consumes nearly 30 % of all energy consumed in Portugal, where it is used for space heating and cooling, water heating, lighting and in electric appliances. Energy efficiency could be improved through the insulation of the building envelope, replacing old appliance and by changing energy consumption habits.

The present dissertation focuses on the promotion of the energy efficiency in buildings. This study sets out two distinct approaches: the first evaluate the cost-effectiveness of energy efficiency measures; the second aims to identify the motivations, the barriers and the opportunities to energy efficiency measures.

The results showed that energy efficiency measures can reduce energy consumption and emissions significantly, however, in some cases the high upfront costs outweigh the returns of the investment. The same issue was identified in the audits carried out, therefore it was concluded this is the main barrier to energy efficiency measures.

The biggest saving potential in household's lies in the replacement of heating and water heating equipment, with payback periods for the most cost-effective alternatives of 7 and 12 years, respectively. To achieve this potential, more cost-effective policies that combines the different instruments, especially the economics, is needed.

Keywords: energy efficiency; buildings; cost-effective; barriers, motivations and opportunities; promotion instruments.

Índice Geral

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	ix
Índice Geral.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Índice de Figuras	xv
Lista de acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e âmbito.....	3
1.3 Organização da dissertação	3
2. Revisão de literatura.....	5
2.1 Enquadramento energético	5
2.1.1 Considerações gerais	5
2.1.2 Balanço energético mundial	6
2.1.3 Balanço energético nacional.....	7
2.1.4 Tendências de evolução – principais indicadores	10
2.2 Revisão das principais políticas em matéria de eficiência energética nos edifícios	11
2.2.1 Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE)	11
2.2.2 Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD)	16
2.2.3 Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC)	19
2.2.4 Outros programas	20
2.3 Caracterização energética dos edifícios em Portugal	20
2.3.1 Edifícios residenciais.....	20
2.3.2 Edifícios de comércio e serviços	28
2.4 Eficiência energética nos edifícios	30
2.4.1 Desafios e oportunidades	30
2.4.2 Benefícios.....	32
2.4.3 Barreiras	35
2.5 Instrumentos de promoção da eficiência energética em edifícios	37
3. Metodologia	41
3.1 Abordagem ao tema.....	41
3.2 Análise das medidas de eficiência energética.....	42
3.3 Análise das auditorias energéticas da FCT-UNL	46
4. Resultados e discussão	48

4.1	Potencial de poupança económico.....	48
4.2	Motivações, barreiras e oportunidades da eficiência energética	56
5.	Conclusões	65
5.1	Síntese e balanço do trabalho desenvolvido.....	65
5.2	Principais recomendações	67
5.3	Considerações finais e desenvolvimentos futuros.....	69
	Referências	71
	Anexos.....	78
	Anexo I – Características dos equipamentos e intervenções	78
	Anexo II – Eficiência dos equipamentos	81
	Anexo III – Preços dos equipamentos/intervenções através do cype	84

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Áreas e programas abrangidos pelo PNAEE 2013-2016 (Adaptado de ADENE, 2015).....	12
Tabela 2.2 – Poupanças alcançadas com as medidas do programa e execução fase às metas (Adaptado de DGEG, 2014)	14
Tabela 2.3 – Poupanças alcançadas com as medidas do programa e execução fase às metas (Adaptado de DGEG, 2016)	15
Tabela 2.4 – Poupanças alcançadas com as medidas do programa e execução fase às metas (Adaptado de DGEG, 2016)	16
Tabela 2.5 – Síntese das principais barreiras à eficiência energética (Adaptado de BPiE, 2011; Brown et al, 2008; Sequeira, 2016)	36
Tabela 2.6 - Síntese dos principais instrumentos de promoção da eficiência energética (Adaptado de Antunes et al., 2003)	38
Tabela 3.1 - Resumo das características de um edifício de referência em Portugal.....	42
Tabela 3.2 – Preços, fatores de conversão entre energia final e primária e fatores de emissão por fonte de energia	45
Tabela 4.1 – Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para climatização (1º exemplo).....	48
Tabela 4.2 – Valores de investimento, VAL e PRI por medida para climatização (1º exemplo).....	49
Tabela 4.3 - Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para climatização (2º exemplo).....	50
Tabela 4.4 - Valores de investimento, VAL e PRI por medida para climatização (2º exemplo)	50
Tabela 4.5 - Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para preparação de AQS (1º exemplo).....	51
Tabela 4.6 - Valores de investimento, VAL e PRI por medida para preparação de AQS (1º exemplo).....	52
Tabela 4.7 - Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para preparação de AQS (2º exemplo).....	52
Tabela 4.8 - Valores de investimento, VAL e PRI por medida para preparação de AQS (2º exemplo).....	53
Tabela 4.9 - Valores de energia útil, energia final e potenciais de poupança por classe energética de cada equipamento	53
Tabela 4.10 – Valores de investimento, VAL e PRI por classe energética de cada equipamento	54
Tabela 4.11 - Valores de energia útil, energia final e potenciais de poupança para iluminação	55
Tabela 4.12 - Valores de investimento, VAL e PRI para iluminação	56
Tabela 4.13 – Resumo de medidas de eficiência energética identificadas nas auditorias	59

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Evolução das despesas com energia das famílias portuguesas a preços correntes (Adaptado de INE, 2016a).....	2
Figura 2.1 Evolução do consumo de energia primária por região a nível mundial (Adaptado de (BP, 2015))	6
Figura 2.2 Evolução do consumo de energia primária por fonte em Portugal (Adaptado de DGEG, 2016b).....	8
Figura 2.3 - Evolução do consumo de energia final por setor em Portugal (Adaptado de DGEG, 2016b).....	9
Figura 2.4 - Evolução da intensidade energética em Portugal e na UE (28 países) (Adaptado de (Eurostat, 2017))	10
Figura 2.5 – Certificado energético para o setor residencial. À esquerda está a primeira página com a classe energética, à direita a terceira página com as recomendações das medidas (Adaptado de (ADENE, 2016)).....	17
Figura 2.6 - Distribuição dos certificados energéticos emitidos por classe (Adaptado de ADENE, 2015)	18
Figura 2.7 Distribuição da população (esquerda) e dos alojamentos (direita) por município, em 2011 (Adaptado de Censos, 2011).....	21
Figura 2.8 – Distribuição dos edifícios por época de construção (Adaptado de INE; DGEG, 2011).....	22
Figura 2.9 – Alojamentos em Portugal com isolamento nas fachadas e coberturas em 2010 (Adaptado de INE; DGEG, 2011)	23
Figura 2.10 – Alojamentos em Portugal por tipologia de vidros (Adaptado de INE; DGEG, 2011).....	23
Figura 2.11 – Distribuição dos consumo e despesa por fonte de energia no setor residencial (Adaptado de INE; DGEG, 2011)	24
Figura 2.12 - Distribuição dos consumos de energia no setor residencial por tipo de utilização final (INE; DGEG, 2011)	25
Figura 2.13 – Evolução dos principais equipamentos domésticos, no período 1995-2010 (Adaptado de (Pordata, 2015)).....	26
Figura 2.14 – Distribuição das classes de eficiência energética na categoria dos grandes eletrodomésticos (Adaptado de INE/DGEG, 2011)	27
Figura 2.15 – Desagregação dos edifícios de comércio e serviços por ramo de atividade (Adaptado de DGEG, 2014)	28
Figura 2.16 – Consumo por fonte de energia no setor do comércio e serviços em 2015 (Adaptado de DGEG, 2016a)	29
Figura 2.17 – Distribuição do consumo de energia no setor terciário por tipo de utilização final (Adaptado de Gruber et al., 2008)	30
Figura 3.1 – Esquema metodológico com as principais fases do trabalho.....	41

Figura 3.2 – Exemplos das tarefas realizadas na auditoria, caracterização energética (à esquerda) e análise das medidas (à direita)	47
Figura 4.1 - Distribuição da amostra segundo a área de formação	57
Figura 4.2 - Motivações para investir em medidas de eficiência energética.....	58
Figura 4.3 – Número de medidas identificadas e taxa de sucesso.....	61
Figura 4.4 - Barreiras à adoção de medidas de eficiência energética.....	62
Figura 4.5 - Distribuição dos incentivos por tecnologia	64

Lista de acrónimos

ADENE – Agência para a Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APISOLAR – Associação Portuguesa da Indústria Solar

AQS – Aquecimento de Águas Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

BPIE – Buildings Performance Institute Europe

CE – Comissão Europeia

CEE – Comunidade Económica Exclusiva

CO_{2e} – Dióxido de carbono equivalente

COP – Coefficient of Performance

DGEG – Direção Geral da Energia e Geologia

DL – Decreto-Lei

EcoFamílias II – Estudo do consumo energético no setor residencial

EEA – European Environment Agency

EUA – Estados Unidos da América

EPBD – Energy Performance Building Directive

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ESCOs – Energy Service Companies

Eurostat – Gabinete de Estatística da União Europeia

FEE – Fundo de Eficiência Energética

FEEI - Fundos Europeus Estruturais e de Investimento

FPC - Fundo Português do Carbono

FRPC - Fundo de Reabilitação e Conservação Patrimonial

GEE – Gases com Efeito Estufa

GEOTA – Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente

ICESD – Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico

IEA – International Energy Agency

IMI – Imposto Municipal sobre Imóveis

IMT – Imposto Municipal sobre as Transmissões Onerosas de Imóveis

INE – Instituto Nacional de Estatística

IVA – Imposto Valor Acrescentado

LED - Light Emission Diode

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional da Energia e Geologia

nZEB – nearly Zero Energy Building

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PIB – Produto Interno Bruto

PME – Pequenas e Médias Empresas

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

POR – Programa Operacional Regional

PO SEUR – Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos

PPEC – Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia elétrica

PPP – Parceria Público-Privada

PRE – Produção em regime especial;

PRI – Período de Retorno do Investimento

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RCM – Reunião Concelho de Ministros

RECS – Regulamento Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento Energético dos Edifícios De Habitação

RFV – Reforma Fiscal Verde

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

SGE – Sistema de Gestão de Energia

tep – Tonelada equivalente de petróleo

UE – União Europeia

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

VEV – Variadores Eletrónicos de Velocidade

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Em Dezembro de 2015, 196 nações do mundo uniram-se para aprovar o Acordo de Paris, comprometendo-se, desta forma, a concentrar esforços que permitam limitar um aumento da temperatura média global até um máximo de 2 °C, comparado com o período pré-industrial, até ao final do século (IEA, 2016a). No entanto, fazer a transição para uma economia de baixo carbono não se afigura fácil e necessitará de investimentos significativos em novas infraestruturas de produção e transporte de energia elétrica, em eficiência energética e em inovação (CE, 2015a).

A nível europeu, a melhoria da eficiência energética é uma das prioridades da estratégia Energia 2020 (CE, 2010), tendo sido apontada como uma das formas mais eficazes em termos de custos para reduzir as emissões de gases com efeito estufa (GEE) e outros poluentes, bem como para melhorar a segurança do aprovisionamento energético (CE, 2011a). Entre os vários setores, o maior potencial de poupança é o oferecido pelos edifícios (CE, 2011a).

O setor dos edifícios representa cerca de 40 % do consumo final de energia na União Europeia (BPIE, 2011; CE, 2015a). Este valor justifica-se pelos cerca de dois terços dos edifícios construídos quando os regulamentos de eficiência energética eram limitados ou não existentes (CE, 2016). Atualmente, na sequência da introdução de requisitos de eficiência energética nos códigos de construção, o consumo dos novos edifícios é cerca de metade do consumo dos edifícios típicos dos anos oitenta (CE, 2014a).

Em Portugal, o sector dos edifícios representa cerca de 30% do consumo de energia final (17 % referentes ao setor doméstico e 13 % ao setor dos serviços) (DGEG, 2016b). O consumo de energia nos edifícios tem sofrido transformações ao longo dos últimos anos, estas têm sido motivadas pelo desenvolvimento tecnológico que, não obstante ter permitido o aparecimento de tecnologias cada vez mais eficientes, multiplicou o número de equipamentos consumidores de energia presentes no interior dos edifícios.

No entanto, desde 2009 tem-se verificado uma diminuição da procura da energia, mais acentuada no setor doméstico. Esta diminuição deve-se ao efeito combinado das políticas tomadas, que resultaram em melhorias na eficiência energética, e do impacto da crise económica (ADENE, 2015).

Embora o consumo tenha diminuído, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) aponta a eficiência energética do edificado como globalmente baixa, que se justifica por uma importante parte do edificado apresentar uma idade avançada e elevados níveis de degradação (Governo de Portugal, 2014).

Aumentar a eficiência energética também deve ser visto como uma oportunidade de reduzir as despesas com energia das famílias e empresas (CE, 2014a). A título de exemplo, na figura 1.1 está representada a evolução da despesa das famílias portuguesas com a aquisição de energia.

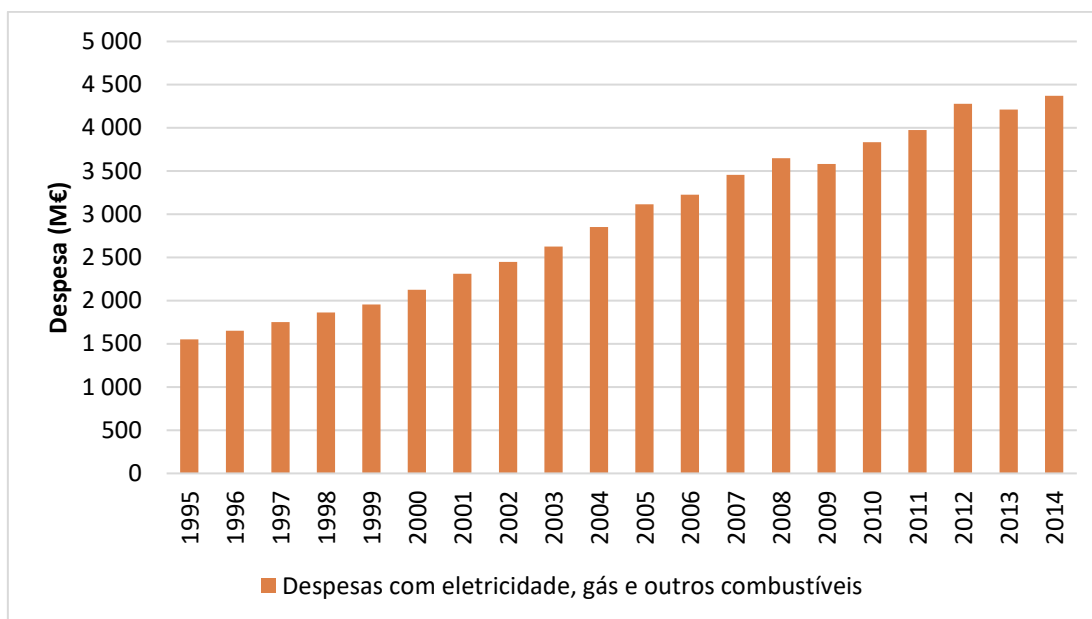


Figura 1.1 - Evolução das despesas com energia das famílias portuguesas a preços correntes (Adaptado de INE, 2016a)

O gráfico da figura mostra que a despesa com a aquisição de energia tem aumentado sucessivamente ao longo dos últimos vinte anos. Este aumento pode ser explicado pelo aumento do consumo de energia pelas famílias, pelo aumento da população e, nos últimos anos, pelo aumento dos preços de energia, designadamente da eletricidade e do gás.

A pouca disponibilidade financeira também é refletida na perda de conforto térmico: dados do Eurostat (2016b) indicam que cerca de 24 % dos agregados familiares em Portugal não têm capacidade para aquecer as suas casas no inverno, um dos valores mais altos na UE. A falta de conforto térmico nas habitações tem consequências graves para a saúde, como aponta a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2012).

Para o segmento do comércio e serviços, a redução dos custos operacionais é o principal incentivo para as empresas reduzirem o seu consumo de energia (Retail Forum for Sustainability, 2009). Desta forma, as empresas podem manter-se competitivas e resilientes face às flutuações dos preços da energia. No entanto, este setor, contrariamente a outros setores energeticamente intensivos, tende a dar menos importância à eficiência energética por não se tratar de um investimento estratégico (Schleich, 2009 *fide* Cooremans (2007)).

A promoção da eficiência energética no edificado é determinada pelas decisões dos vários agentes envolvidos – promotores, arquitetos, engenheiros, construtores, decisores políticos e, por último, os investidores. As famílias e empresas, como consumidores finais dos serviços de energia, são os principais investidores em medidas de eficiência energética. Deste modo, compreender os fatores que afetam a decisão dos consumidores, bem como as medidas com melhor relação custo-eficácia, permitirá desenvolver políticas de promoção da eficiência energética mais eficazes (BPIE, 2011).

1.2 Objetivos e âmbito

A presente dissertação tem como objetivo dar um contributo para a promoção da eficiência energética no parque edificado português. Ainda que este seja um tema relevante para o setor residencial e de comércio e serviços, o estudo incide particularmente nas opções de investimento dos consumidores domésticos.

De modo a atingir este fim, foram definidos os seguintes objetivos principais:

1. Caracterizar os potenciais de poupança de energia, de emissões e económicos por uso final de energia e por tipologias de medidas;
2. Caracterizar a rentabilidade dos investimentos em eficiência energética nos edifícios;
3. Identificar as motivações, barreiras e oportunidades à implementação das medidas de eficiência energética. Pretende-se adquirir um maior conhecimento sobre a forma como os critérios socioculturais e económico-financeiros influenciam a tomada de decisão dos consumidores.
4. Identificar oportunidades de melhoria para as políticas atuais. As propostas resultantes das oportunidades encontradas devem ser respeitantes do tema da dissertação.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo é realizado o enquadramento do tema, que em linhas gerais resume a importância do tema em estudo e motivações que estiveram na base da escolha do tema. Na segunda parte é delimitado o âmbito do estudo e definidos os principais objetivos.

O segundo capítulo é dedicado aos temas da energia, da eficiência energética e dos edifícios. Os principais pontos abordados neste capítulo foram a caracterização do consumo de energia e das principais tendências de consumo e a caracterização do consumo energético no setor dos edifícios. Foram identificadas as principais políticas e programas para a área da eficiência energética, com maior destaque para o setor dos edifícios. Foram também identificados os desafios e oportunidades, os benefícios e as barreiras à eficiência energética nos edifícios. Por fim, foram identificados os principais instrumentos de promoção da eficiência energética.

No terceiro capítulo está descrita a metodologia seguida no presente estudo. Para cada fase está descrito o processo de recolha dos dados, principais variáveis estudadas e pressupostos assumidos.

No quarto capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos na dissertação. Quando a situação assim o permite, os resultados são comparados e complementados com outros estudos da literatura, o que permite ter uma visão crítica sobre os mesmos.

No quinto e último capítulo são resumidos os principais resultados obtidos, que são o ponto de partida para as conclusões finais da dissertação. Também é neste capítulo que são apresentadas as recomendações e possíveis desenvolvimentos futuros nesta área.

2. Revisão de literatura

2.1 Enquadramento energético

2.1.1 Considerações gerais

O tema da energia está no centro das mais críticas discussões económicas, ambientais e de desenvolvimento que o mundo enfrenta atualmente (ONU, 2010). Na área da economia, o estudo da energia ganhou maior importância, na década de 70, devido ao aumento abrupto do preço do petróleo. Na base deste aumento esteve a crise política que ocorreu no Irão e que desorganizou todo o setor petrolífero. Estes eventos também estiveram na origem da “Segunda Crise” em 1979, cujos impactos provocaram um aumento de mais de 1 000 % no preço do petróleo (Rocha, 2013). Desde essa altura, tem sido dada mais atenção à economia da energia, nomeadamente à relação entre o crescimento económico e o consumo de energia (veja-se para o caso português, por exemplo, Henriques (2012)).

A par com a importância para a economia, está a importância da energia para o estado do ambiente. A emissão de GEE por parte do setor energético representam dois terços do total de emissões antropogénicas e, durante o último século, estas aumentaram para níveis nunca antes vistos (IEA, 2015). Por conseguinte, o IPCC, no último relatório de avaliação, atualizou para “muito provável” a hipótese de as emissões antropogénicas de GEE serem a principal causa das alterações climáticas.

As alterações climáticas são um problema global com várias implicações ambientais, sociais, económicas, distributivas e políticas, constituindo atualmente um dos principais desafios para a humanidade (Santo Padre Francisco, 2015). Portugal encontra-se entre os países europeus com maior vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas, com especial ênfase nos fenómenos da seca, da desertificação, degradação e erosão do solo, ocorrência de cheias e nos incêndios florestais (Governo de Portugal, 2014).

No entanto, o impacto que os combustíveis fósseis têm no planeta não se resume às emissões resultantes da sua queima, existe também o problema das técnicas de perfuração utilizadas para libertar o gás de xisto, o denominado “fracking” ou fraturamento hidráulico, que têm suscitado dúvidas quanto aos riscos para os ecossistemas. O processo de “fracking” consiste no bombeamento de água, com produtos químicos e um material propante, a grandes profundidades. Posteriormente, o fluido do fraturamento (com contaminantes naturais) retorna à superfície contaminando solos e lençóis freáticos, e aumentando o risco de atividade sísmica (Goodman et al., 2016).

Finalmente, nas discussões que envolvem o tema do desenvolvimento, sobretudo do desenvolvimento sustentável, é fundamental incluir o futuro do sistema energético global. O sistema atual sustentado pelas fontes de combustível fóssil apresenta um futuro incerto, motivado pela exaustão destes recursos e pela dependência de países politicamente instáveis (Leijten et al.,

2014). Na UE, a maioria das centrais a carvão está perto do seu fim de vida, pelo que serão necessários investimentos em novas infraestruturas (EEA, 2016).

2.1.2 Balanço energético mundial

Na figura 2.1 está representado o gráfico com a evolução do consumo de energia primária por regiões. Globalmente, a procura de energia em 2015 aumentou 1 % face a 2014 (em 2014 e 2013 o crescimento tinha sido 1,1 % e 2,5 %, respetivamente) (IEA, 2016b).

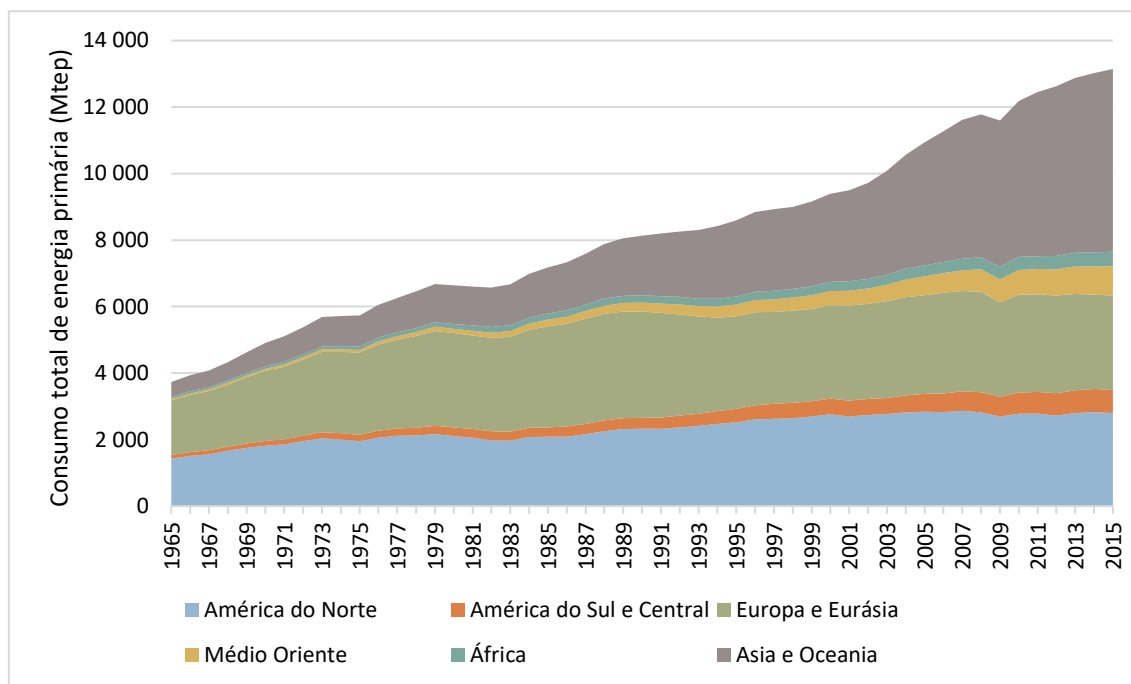


Figura 2.1 Evolução do consumo de energia primária por região a nível mundial (Adaptado de (BP, 2015))

Entre os países mais consumidores destacam-se a China e os Estados Unidos (EUA), contabilizando 40 % do consumo energético mundial e 43 % das emissões de CO₂e. A China, não obstante em 2014 ter conseguido reduzir a intensidade energética da sua economia e estabilizar as emissões de GEE o que sugere algum progresso no cumprimento das metas climáticas, continua concentrada no crescimento da sua economia e o carvão continua a ser a fonte predominante no mix energético (Ferreira, Almeida, & Rodrigues, 2016).

Nos EUA, as emissões de dióxido de carbono provocadas pelo setor energético diminuíram cerca de 10 %, entre 2005 (máximo histórico) e 2014, para tal foi decisivo o aumento de 11 % da produção energética a partir de fontes de energia renovável (excluindo a hídrica) e a estabilização da procura por energia elétrica (IEA, 2015).

Na UE, as maiores alterações ao mix energético ocorreram a partir de 1990. O consumo de carvão foi o que mais diminuiu (17 % em 2013 face a 27 % em 1990), tendo sido substituído, numa

primeira fase, pelo gás natural e posteriormente pelas fontes de energia renovável e pela energia nuclear. No mesmo período, o consumo de produtos petrolíferos decresceu 15 % motivado pelo ganhos de eficiência nos combustíveis e pela crise económica (Barker, Billington, Clark, Lewney & Paroussos, 2016).

Por outro lado, a reforma estrutural do sistema electroprodutor conduziu a uma maior integração das fontes de energia renovável e da energia nuclear no mix energético, com ambas a atingirem uma quota de 13 – 15 % (Barker et al., 2016). A integração destas fontes de energia menos poluentes combinado com os ganhos de eficiência permitiram à UE reduzir em mais de 20 % as emissões totais de GEE (CE, 2015a).

Em suma, e dado que é expectável que a economia mundial duplique nos próximos 20 anos, o consumo energético mundial também irá aumentar significativamente, se nada for feito para melhorar a eficiência do lado da procura e do lado da oferta (ONU, 2010).

2.1.3 Balanço energético nacional

Em Portugal, a procura de energia apresentou um crescimento acentuado logo após a adesão do país à CEE, que se manteve até ao ano 2000. Durante este período, Portugal foi dos países da UE que apresentou taxas de crescimento da procura de energia final mais significativas (Direcção Geral de Energia; Ministério da Economia, 2002).

No gráfico da figura 2.2 pode ver-se a evolução do consumo de energia primária por fonte, em Portugal. No período 1995-2005, assistiu-se ao aumento do consumo de energia, que acompanhou o ritmo de crescimento da economia. Entre 2005 e 2009, a descida do consumo de energia pode ser explicada pelos ganhos de eficiência motivados pela modernização tecnológica e investimentos modestos em eficiência energética. A partir de 2010, o decréscimo mais acentuado deve-se à conjugação de vários fatores, entre os quais se destacam a recessão económica e o aumento dos preços de energia (GEOTA, 2013).

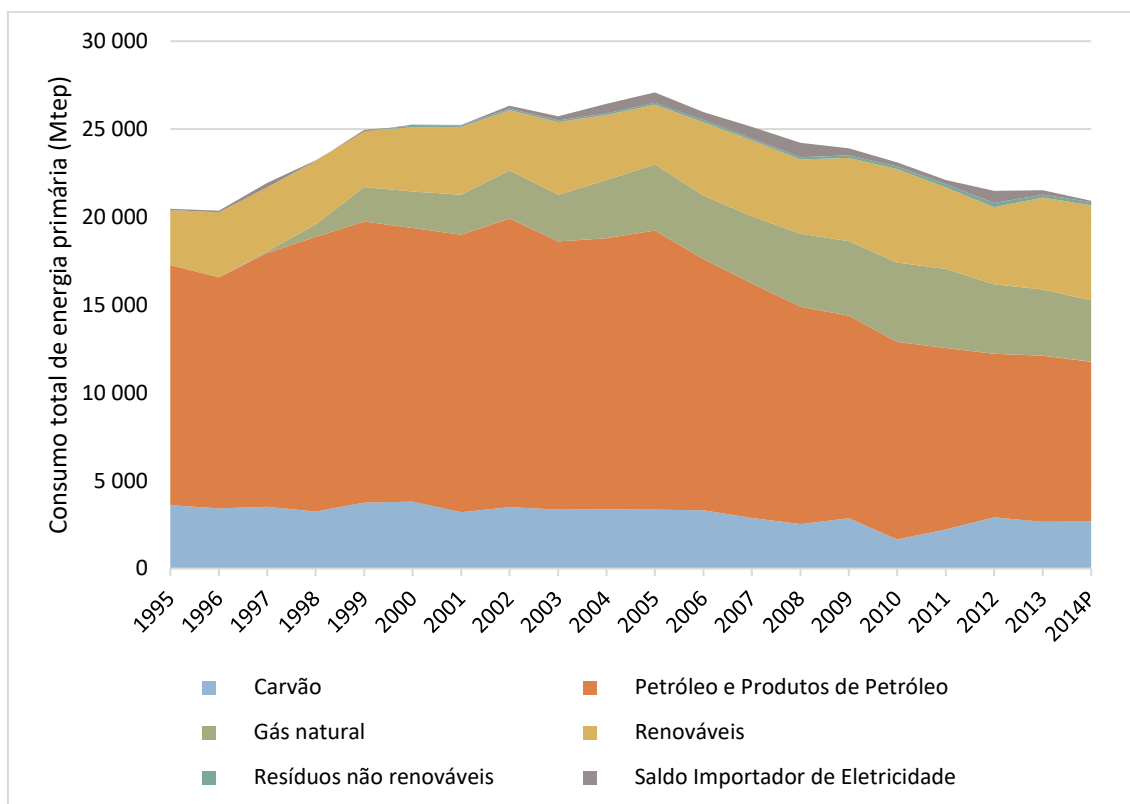


Figura 2.2 Evolução do consumo de energia primária por fonte em Portugal (Adaptado de DGEG, 2016b)

Uma outra tendência visível no gráfico da figura diz respeito à composição do mix energético que sofreu uma diversificação ao nível das fontes energéticas. O petróleo e produtos derivados continuam a ser a principal fonte de energia primária consumida em Portugal (43 %), todavia, nos últimos anos têm sido gradualmente substituídos por outras fontes de energia, particularmente pelo gás natural e pelas fontes de energia renovável. (ADENE, 2015).

O consumo de energia proveniente de fontes de energia renovável tem apresentado uma tendência de crescimento, tendo em 2014 atingido um novo máximo, cerca de 26 % da energia primária consumida. Contudo, se contabilizarmos apenas a contribuição renovável para a produção de eletricidade, em 2012 cerca de 48 % da produção nacional era de origem renovável (ADENE, 2015).

Comparativamente aos restantes países da UE, somente a Áustria (66 %) e Suécia (60 %) apresentam uma componente renovável superior. A hídrica e a eólica estabelecem-se como as únicas fontes relevantes do panorama nacional (98 % da produção renovável, em 2013), ao passo que a energia produzida a partir das fontes geotérmicas e, principalmente, do solar fotovoltaico continuam a ter um impacto residual (ADENE, 2015).

A aposta nas energias renováveis da última década, assim como o aumento das exportações de produtos petrolíferos, situaram a dependência externa para o exterior em 72,4 %, em 2014 (por

comparação, em 2005 a dependência energética situava-se nos 88,8 %) (DGEG, 2016b). Não obstante a melhoria registada, diminuir a intensidade energética da economia representa um dos principais desafios que o país enfrenta no domínio da sustentabilidade e eficiência no uso de recursos (Governo de Portugal, 2014).

Por outro lado, os investimentos realizados em fontes de energia renováveis (nomeadamente eólica on-shore e energia hídrica), bem como nas centrais de ciclo combinado a gás natural basearam-se num cenário de manutenção ou aumento da procura que não se veio a verificar, resultando numa oferta excessiva e na inadequabilidade da oferta à variação dos ciclos de consumo diários (Governo de Portugal, 2014).

Na figura 2.3 pode-se observar os consumos de energia final a nível sectorial. Os transportes (36 %) e a indústria (31 %) são os setores com mais peso no consumo final de energia, seguido do setor doméstico (17 %), serviços (13 %) e agricultura e pescas (3 %).

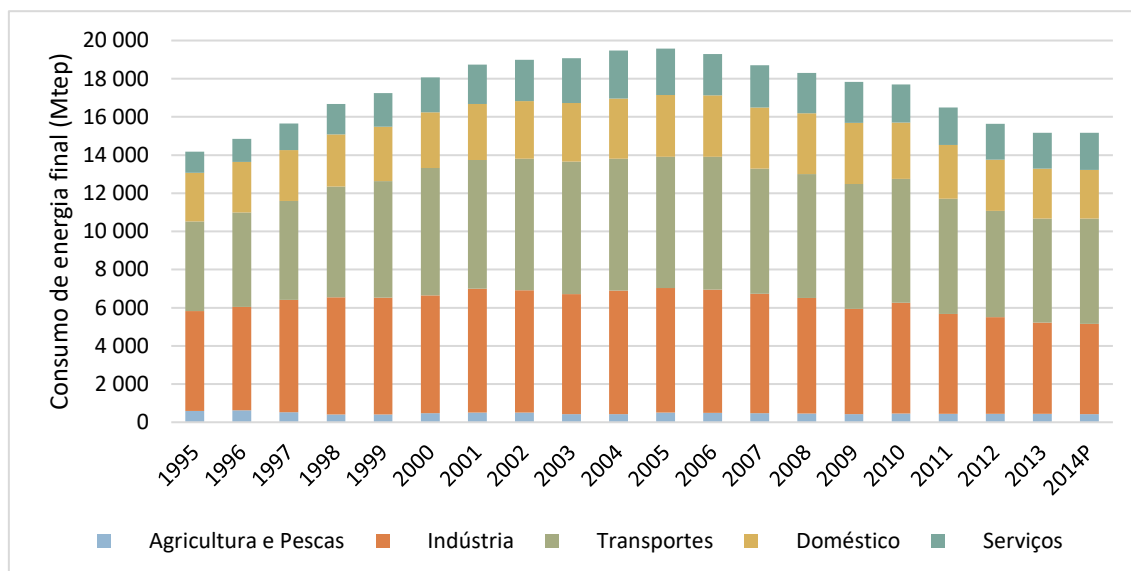


Figura 2.3 - Evolução do consumo de energia final por setor em Portugal (Adaptado de DGEG, 2016b)

Após ter atingido o pico máximo em 2005, em geral o consumo de energia tem vindo a decrescer nos últimos anos em todos os setores (DGEG, 2016b). As maiores diminuições ocorreram no setor industrial, motivado sobretudo pela redução significativa no consumo de petróleo (redução de cerca de 60 %) (ADENE, 2015).

O consumo de gás natural e energia elétrica tem-se mantido estável ao longo dos últimos anos. Para o caso da eletricidade, nos últimos dois anos o maior aumento registou-se nos edifícios do estado (DGEG, 2016b).

2.1.4 Tendências de evolução – principais indicadores

Segundo Filippini et al. (2014) definir e avaliar a eficiência energética pode ser um desafio. No que respeita a definição, na literatura é frequente vermos os termos «eficiência energética» e «poupança energética» serem utilizados para contextos diferentes. Eficiência energética significa utilizar menos energia mantendo um nível equivalente de atividade ou serviço económico, enquanto poupança energética é um conceito mais amplo, que inclui também a redução do consumo graças à mudança de comportamentos ou à redução da atividade económica (CE, 2011a). Contudo, também é frequente serem utilizados como sinónimos, tal como irá acontecer nesta dissertação.

A eficiência energética à escala nacional pode ser avaliada através do indicador da intensidade energética. A intensidade energética de uma economia consiste na razão entre o consumo interno de energia e o seu Produto Interno Bruto (PIB) (APA, 2016). No entanto, este indicador só pode ser considerado como uma aproximação (Filippini et al., 2014), uma vez que é afetada por outros fatores que podem mascarar potenciais ganhos de eficiência, nomeadamente a estrutura da economia, tipos de indústria, taxas de câmbio, acessibilidade aos bens energéticos, tamanho do país, clima e comportamentos dos consumidores (IEA, 2007).

No gráfico da figura 2.4 está representada a evolução da intensidade energética da economia portuguesa face à média dos países da UE. Em 2014, a intensidade energética situou-se em 130 tep/M€ de PIB a preços de 2010, um valor 8 % acima da média da UE.

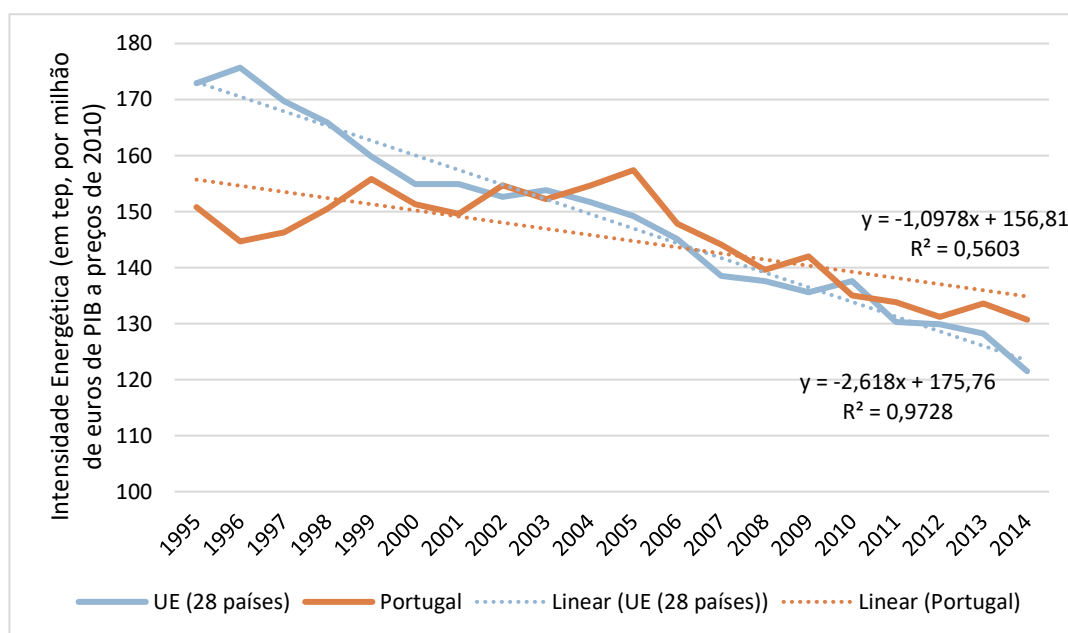


Figura 2.4 - Evolução da intensidade energética em Portugal e na UE (28 países) (Adaptado de (Eurostat, 2017))

Até 2005, a intensidade energética da economia portuguesa apresentou uma tendência crescente (+4 % face a 1995), contrastando com a média da UE para o mesmo período. Entre 2005 e 2014,

a intensidade energética diminuiu 20 %, convergindo com a média da UE, ainda que tenha, geralmente, apresentado valores superiores (APA, 2016). No entanto, este desempenho positivo encobre uma intensidade energética da economia produtiva superior em 27 % à média da UE (Governo de Portugal, 2014).

A nível sectorial, os três setores mais consumidores, transportes, indústria e residencial apresentaram ganhos de eficiência energética, entre 2000 e 2012 (ODYSSEE-MURE, 2015). Pelo contrário, o setor dos serviços aumentou a intensidade elétrica em mais de 40 %, no período 2000-2013 (ADENE, 2015). Este aumento no setor dos serviços pode ser explicado pelo aparecimento de novos equipamentos da área das tecnologias de informação e pela expansão dos sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) (Gynther, Lappillone, & Pollier, 2015).

Em suma, apesar de Portugal encontrar-se no bom caminho para cumprir a meta de 25 % em 2020 (DGEG, 2016b), é necessário prosseguir o esforço de promoção da eficiência energética, sobretudo do lado da procura, de modo a atenuar o acréscimo de consumos que é expectável em virtude da retoma económica (Governo de Portugal, 2014).

2.2 Revisão das principais políticas em matéria de eficiência energética nos edifícios

2.2.1 Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE)

Desde a crise provocada pelo aumento do preço do petróleo no início da década de 70 (já referida anteriormente), que os países industrializados têm vindo a adotar políticas no sentido de reduzir a intensidade energética em todos os setores da sua economia. Estas políticas permitiram diminuir o consumo de energia durante vários anos. Mais recentemente, os compromissos assumidos pelos países em reduzir as emissões de GEE levou a um reforçar destas políticas (Geller, Harrington, Rosenfeld, Tanishima, & Unander, 2006).

A nível europeu, os vários Estados-Membros transpuseram a Diretiva comunitária n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, que, entre outras coisas, fixava a obrigação de apresentar à comissão Europeia planos de ação de eficiência energética (DGEG, 2016b). O objetivo inicial dos planos era reduzir anualmente, até 2016, o equivalente a 1% do consumo médio de energia final em 2001-2005 (Governo de Portugal, 2014).

Portugal aprovou pela RCM n.º 80/2008 o primeiro Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período 2008-2015. Este plano contemplava um conjunto de programas e medidas que visavam uma melhoria da eficiência energética equivalente a 9,8 % do consumo final de energia (ADENE, 2015; DGEG, 2016b).

Ainda com o 1º plano em vigor, o Governo, em 2012, decide proceder à revisão do plano visando novas ações e metas. Esta revisão teve em conta os receios de incumprimento das metas estabelecidas para a redução do consumo de energia primária até 2020, conforme a Diretiva 2012/27/EU (Nova Diretiva Eficiência Energética). Deste modo, em 2013, foi aprovado o 2º PNAEE pela RCM n.º 20/2013 para o período 2013-2016, este novo documento dá continuação à maioria dos programas previstos no 1º plano (ADENE, 2015; DGEG, 2016b).

Para o horizonte 2020 tinha sido definida uma meta comunitária de redução de 20 % (24 Mtep) do consumo de energia primária (com base em projeções do modelo PRIMES para a Comissão Europeia em 2007). Contudo, em função da crise económica que alterou significativamente as previsões de consumo da CE, a meta foi cumprida sem que houvesse necessidade de medidas extraordinárias. Para dar sequência ao objetivo de aumentar a eficiência energética, o novo PNAEE também reforça a meta global para 25 % (22,5 Mtep), tendo ainda ficado estabelecida uma meta específica de 30 % para a Administração Pública (DGEG, 2016b; Governo de Portugal, 2014; ODYSSEE-MURE, 2015).

Os programas de atuação do PNAEE estão divididos em 6 áreas, designadamente transportes, residencial e serviços, indústria, estado, comportamentos e agricultura (tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Áreas e programas abrangidos pelo PNAEE 2013-2016 (Adaptado de ADENE, 2015)

ÁREAS						
PROGRAMAS	Transportes	Residencial e Serviços	Indústria	Estado	Comportamentos	Agricultura
	Eco Carro	Renove casa & escritório	Sistema de gestão dos consumos	Eficiência energética no Estado	Comunicar eficiência energética	Eficiência energética no setor agrário
	Mobilidade Urbana	Sistema de eficiência energética nos edifícios	intensivos de energia			
	Sistema de eficiência energética nos transportes	Solar térmico				

Os programas direcionados para os edifícios são os dos segmentos residencial e serviços e estado. Os edifícios da Administração Pública (estado) são abrangidos pelo programa ECO.AP. Este Programa, lançado em 2011 pelo Governo português, combina um conjunto de medidas que vão desde a nomeação de um gestor para a energia em todos os órgãos públicos, a criação de contratos de parcerias entre órgãos públicos e empresas de serviços de energia (ESCOs), a implementação de um barómetro da eficiência energética e a definição de um esquema nacional de certificados brancos (ADENE, 2015).

No que se refere aos edifícios do setor residencial e serviços, os programas de eficiência em execução são: 1) programa renove casa & escritório; 2) sistema de certificação energética nos edifícios; e 3) programa solar térmico.

Programa “Renove Casa & Escritório”

Este programa tem como objetivo a substituição de equipamentos menos eficientes por outros mais eficiente. Dos equipamentos abrangidos fazem parte os eletrodomésticos, os equipamentos elétricos e a iluminação do setor residencial e do setor dos serviços. Para responder ao objetivo, o programa está subdividido em 5 medidas, nomeadamente:

- Medida rsp1m1 - promoção de equipamentos mais eficientes;
- Medida rsp1m2 - iluminação eficiente;
- Medida rsp1m3 - janela eficiente;
- Medida rsp1m4 - isolamento eficiente;
- Medida rsp1m5 - calor verde.

A promoção destas medidas pode ser realizada com recurso a: 1) medidas de incentivo à utilização de produtos mais eficientes do ponto de vista energético; 2) medidas de penalização ou de restrição à aquisição de determinados produtos ou mesmo à proibição de comercialização e de introdução no mercado de equipamentos com desempenhos energéticos abaixo de determinados níveis (DGEG, 2014).

Os incentivos concedidos a estas medidas são financiados pelo Fundo para Eficiência Energética (FEE) e são atribuídos através da abertura de concursos públicos de curta-duração, designados por Avisos. Os incentivos são atribuídos a fundo perdido e cobrem uma parte, que pode ir até aos 60 %, do investimento. Por norma, abrem alguns Avisos por ano, uma vez que são destinados a diferentes setores (PNAEE, 2016).

Relativamente às medidas de penalização ou restrição, estas têm por base a aplicação da legislação nacional relativa à transposição de Diretivas sobre rotulagem energética (Diretiva n.º 2010/30/EU) e ecológica (Diretiva Ecodesign), assim como outros regulamentos comunitários e sistemas de certificação voluntária de equipamentos energeticamente eficientes (DGEG, 2014).

Na tabela 2.2 pode-se observar as poupanças obtidas pelo programa em 2013 e a execução em relação à meta intermédia de 2016 e final de 2020. Embora sejam dados relativos a 2013, os resultados denotam uma fraca execução das medidas que visam a introdução de isolamentos e janelas eficientes, assim como na medida calor verde.

Tabela 2.2 – Poupanças alcançadas com as medidas do programa e execução fase às metas (Adaptado de DGEG, 2014)

Programa	Código de medida	Energia poupada (tep)		Meta 2016 (tep)		Execução 2016 (%)	Meta 2020 (tep)		Execução 2020 (%)
		Final	Primária	Final	Primária		Final	Primária	
Renove Casa & Escritório	RSp1m1	99 931	156 869	189 363	297 257	53	235 535	361 886	43
	RSp1m2	48 530	76 181	98 236	154 207	49	98 236	154 207	49
	RSp1m3	311	339	997	1 088	31	1 500	1 636	21
	RSp1m4	435	475	1 068	1 165	41	1 716	1 872	25
	RSp1m5	15 796	15 796	110 249	110 249	14	157 354	157 354	10

Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

No âmbito do PNAEE 2016, o SCE tem como objetivo a melhoria da classe média de eficiência energética do parque edificado. Para tal, estão definidas metas a atingir para o número de edifícios de classes eficientes (B- a A+) para o segmento residencial e serviços, até ao ano 2020, nomeadamente:

- Medida RSp2m1 - Certificar cerca de 268 mil fogos residenciais, novos ou sujeitos a grandes remodelações, com classe energética B- ou superior;
- Medida RSp2m2 - Certificar cerca de metade dos edifícios de serviços com classe energética B- ou superior;

Importa referir que a previsão destas metas teve por base um cenário de retoma do mercado imobiliário e de um aumento das taxas de reabilitação dos edifícios existentes. Também com as alterações à legislação realizadas em 2013, prevê-se um incremento do número de certificados atribuídos anualmente, sobretudo no segmento dos serviços (DGEG, 2014). Como o SCE é o programa central da Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios, este será analisado com mais pormenor na secção seguinte.

Ainda assim, na tabela 2.3 estão representadas as poupanças obtidas pelo programa em 2013 e a execução em relação à meta intermédia de 2016 e final de 2020. O setor residencial está bem encaminhado para cumprir a meta de 2020. Pelo contrário, o setor dos serviços, em 2013, estava bastante longe das metas intermédia e final.

Tabela 2.3 – Poupanças alcançadas com as medidas do programa e execução fase às metas (Adaptado de DGEG, 2016)

Programa	Código de medida	Energia poupada (tep)		Meta 2016 (tep)		Execução 2016 (%)	Meta 2020 (tep)		Execução 2020 (%)
		Final	Primária	Final	Primária		Final	Primária	
SCE	RSp2m1	57 473	71 554	77 473	96 453	74	94 580	117 751	61
	RSp2m2	23 697	29 098	83 272	102 251	28	152 671	187 465	16

Programa “Solar térmico”

Este programa visa equipar o parque edificado e a edificar do setor doméstico e de serviços com sistemas solares térmicos, também é objetivo do programa criar condições favoráveis para a substituição, reparação ou manutenção especializada dos sistemas já existentes. Tal como no programa anterior, foram definidas metas para a integração destes sistemas até 2016 e 2020, nomeadamente:

- Medida RSp3m1 - Cerca de 800 mil m² de coletores instalados e operacionais até 2016 e cerca de 1,2 milhões de m² até 2020, no segmento residencial;
- Medida RSp3m2 - Cerca de 330 mil m² de coletores instalados e operacionais até 2016 e cerca de 500 mil m² até 2020, no segmento dos serviços;

A promoção desta medida é realizada por via de apoios específicos, nacionais e comunitários, direcionados à área da eficiência energética, no caso do setor doméstico estes apoios podem passar pela negociação de linhas de crédito (DGEG, 2014).

Como mencionado anteriormente, os incentivos a fundo perdido atribuídos pelo FEE também podem representar um contributo importante na promoção destes sistemas. Uma outra forma de promoção destas medidas é através das alterações à regulamentação, que será abordada no próximo subcapítulo.

Contudo, em 2013, os níveis de execução deste programa estavam ainda longe das metas para 2016 e 2020, o que reforça a necessidade da existência dos mecanismos referidos anteriormente.

Tabela 2.4 – Poupanças alcançadas com as medidas do programa e execução face às metas (Adaptado de DGEG, 2016)

Programa	Código de medida	Energia poupada (tep)		Meta 2016 (tep)		Execução 2016 (%)	Meta 2020 (tep)		Execução 2020 (%)
		Final	Primária	Final	Primária		Final	Primária	
Solar	RSp3m1	16 303	16 303	52 236	52 236	31	81 238	81 238	20
Térmico	RSp3m2	4 532	4 532	21 371	21 371	21	34 663	34 663	13

2.2.2 Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD)

Sistema de certificação energética

Em Portugal, a primeira regulamentação em matéria do desempenho energético dos edifícios surge no princípio dos anos 90, quando foi introduzido o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de fevereiro). Este primeiro regulamento, ainda que de caráter voluntário, veio assegurar que a componente térmica adquirisse importância desde a fase do projeto até à construção final e, por conseguinte, os edifícios passaram a usar isolamentos térmicos e vidros duplos. Anos mais tarde, em 1998, foi introduzido o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - Decreto-Lei 118/98, de 7 de maio), este segundo regulamento visava melhorar a eficiência energética dos sistemas de climatização, de edifícios não residenciais, impondo um conjunto de requisitos para estes sistemas (Direção Geral de Energia & Ministério da Economia, 2002).

Estes regulamentos estiveram em vigor até 2006, altura em que as normas de construção foram revistas no seguimento da transposição da Diretiva comunitária nº 2002/91/CE (EPBD). Em 2010, surge uma nova atualização às normas através da Diretiva nº 2010/31/UE, que veio impor requisitos mais exigentes referentes ao desempenho energético dos edifícios, novos e existentes, elementos construtivos e sistemas técnicos (aquecimento, arrefecimento, AQS, iluminação, elevadores), assim como novas metodologias de cálculo (Fragoso & Mateus, 2014).

A atualização da Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios foi transposta para a legislação nacional pelo Decreto-Lei nº 118/2013. Este novo documento reúne todos os aspetos referentes ao sistema de certificação energética (SCE) e às metodologias de cálculo, o regulamento energético dos edifícios de habitação (REH) e o regulamento energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS). As metodologias de cálculo têm por base uma análise comparativa com um edifício de referência da mesma tipologia. Os parâmetros são definidos em termos das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, também são definidos requisitos máximos para as necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento e

AQS. Adicionalmente, a nova regulamentação também impõe a instalação, quando assim justificar, de um sistema solar térmico para AQS (Fragoso & Mateus, 2014).

Os certificados energéticos são o aspeto mais relevante do SCE. Este documento (figura 2.5) atribui uma classe energética aos fogos residenciais ou não residenciais, que pode variar entre o nível A+ (mais eficiente) e o nível F (menos eficiente). Os certificados apresentam ainda um conjunto de recomendações de medidas para melhorar a performance energética e, associado às medidas, uma descrição geral da medida, o potencial de redução da fatura, custo e período de retorno estimado do investimento e uma simulação da classe de eficiência em caso da medida ser implementada (ADENE, 2015; Mudgal, Lyons, Cohen, Lyons, & Fedrigo-Fazio, 2013).

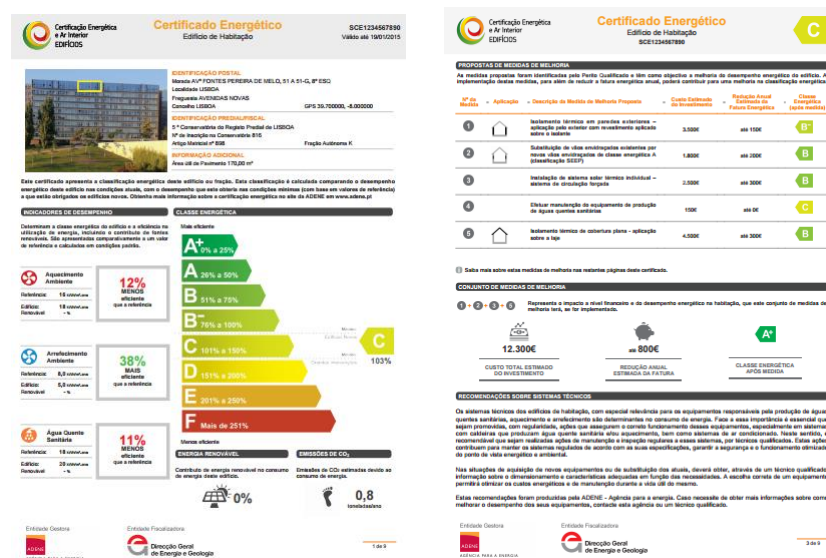


Figura 2.5 – Certificado energético para o setor residencial. À esquerda está a primeira página com a classe energética, à direita a terceira página com as recomendações das medidas (Adaptado de (ADENE, 2016))

As últimas alterações à legislação também vieram ditar que todos os novos edifícios e os edifícios sujeitos a grandes reabilitações têm de possuir certificado energético, assim como em casos de compra ou arrendamento. Estas alterações vieram aumentar significativamente o número de certificados atribuídos (Fragoso & Mateus, 2014). Para os edifícios não residenciais, a lei ainda impõe que todos os edifícios com uma área superior a 1000 m² (500 m² para o caso dos supermercados, centros comerciais e piscinas municipais) têm de possuir certificado. O certificado é válido para um período de 8 anos para os edifícios de grandes dimensões, para os outros tem uma validade de 10 anos (ADENE, 2015).

Globalmente, até agosto de 2015, tinham sido emitidos cerca de 876 milhares de certificados, sendo que cerca de 90 % destes pertencem a edifícios residenciais. Do total de edifícios certificados, cerca de dois terços está abaixo do nível eficiente, sendo as classes C (34 %) e D (26 %) as mais predominantes (figura 2.6).

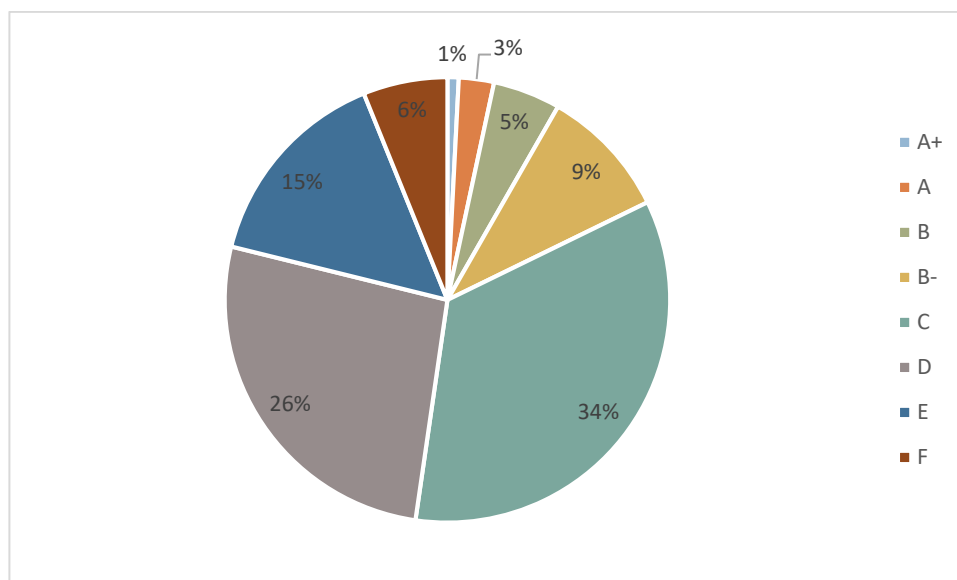


Figura 2.6 - Distribuição dos certificados energéticos emitidos por classe (Adaptado de ADENE, 2015)

Edifícios nZEB

No DL nº 118/2013 está ainda previsto que o parque edificado português deve progressivamente ser composto por edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB). Em Portugal, devem ser nZEB os edifícios novos licenciados após 31 de Dezembro de 2020, ou após 31 de dezembro de 2018 no caso de edifícios novos na propriedade ou ocupados de uma entidade pública (Bernardo, 2015).

A definição de nZEB, segundo a diretiva, é um edifício com uma elevada performance energética em que as necessidades primárias de energia devem ser cobertas, em grande medida, por energia proveniente de fontes de energia renováveis (*e.g.* fotovoltaica, eólica), produzida no local ou nas imediações (S. M. Silva, Mateus, Marques, Ramos, & Almeida, 2016).

No entanto, a definição de edifício nZEB não está a ser adotada uniformemente por todos os Estados-Membros. Em Portugal, a definição está condicionada por diversas variáveis, tais como a viabilidade económica, a viabilidade técnica, o clima, as soluções construtivas típicas, a arquitetura ou o tipo de utilização. Assim, a definição a adotar por Portugal surgirá dentro do enquadramento regulamentar definido pelo REH e pelo RECS (DGEG, 2013).

Em 2015, foram definidos um conjunto de requisitos intermédios de eficiência energética, que servirão de referencial para os edifícios nZEB previstos em 2018 e 2020. Estes requisitos incidem sobre os coeficientes de transmissão térmica dos elementos opacos e de vãos envidraçados, desempenho dos sistemas AVAC, eficiência de caldeiras e esquentadores e, para o setor do comércio e serviços estão definidos requisitos para a densidade de potência de iluminação, eficiência dos elevadores e de classe energética mínima a alcançar com a implementação do PRE (DGEG, 2013).

2.2.3 Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC)

O PPEC é um mecanismo competitivo que tem como objetivo a promoção de medidas que visam melhorar a eficiência no consumo de energia elétrica. Este plano foi lançado pela primeira vez em 2006 com o intuito de dar resposta ao conjunto de barreiras ao aumento da eficiência energética no lado da procura. As medidas promovidas são classificadas em tangíveis e intangíveis. Entre as medidas tangíveis, estas podem ser destinadas aos setores: indústria e agricultura; comércio e serviços; residencial (ERSE/DGEG, 2016; ERSE, 2016b).

Os promotores das medidas podem ser entidades externas, ou não, ao setor elétrico, sendo que uma parte das medidas têm de ser obrigatoriamente proposta por entidades externas, que aproveitam o concurso como forma de promover os seus serviços e equipamentos. As entidades promotoras variam desde empresas comercializadoras de energia elétrica, operadores das redes de transporte e de distribuição de energia, associações e entidades de promoção e defesa dos interesses dos consumidores de energia elétrica, associações empresariais, associações municipais, agências de energia e instituições de ensino superior e centros de investigação. A seleção das candidaturas é realizada pela ERSE, na perspetiva de regulação económica e pela DGEG, na perspetiva da política energética, sendo posteriormente sujeita a homologação pelo membro do Governo responsável pela área da Energia (ERSE, 2016b).

Aos promotores é pedido que apresentem medidas específicas que promovam a redução do consumo de energia elétrica ou a gestão de cargas e que possam ser facilmente verificáveis e mensuráveis. Este último ponto é particularmente importante dado o valor das medidas exceder largamente os recursos financeiros do PPEC. Deste modo, as medidas aprovadas têm de ser sujeitas a um concurso competitivo, sendo selecionadas as que apresentarem maior benefício para os consumidores de energia elétrica e para o setor em geral. Posteriormente, os promotores ficam obrigados a apresentar relatórios de progresso semestrais com a caracterização económica e física da implementação das medidas, as despesas incorridas devidamente certificadas e auditadas e um relatório de execução final (ERSE, 2016b).

À medida que as edições avançam, o nível de co-financiamento dos promotores e dos beneficiários tem aumentado, o que tem permitido apoiar cada vez mais medidas. Em geral, os benefícios alcançados superam em muito os custos, a título de exemplo, na edição 2013-2014 a implementação de todas as medidas prevê alcançar benefícios avaliados em 152 milhões de euros (ERSE, 2016a).

No setor dos edifícios, as medidas abrangidas vão desde a promoção de lâmpadas LEDs, substituição de equipamentos mais eficientes, instalação de sistemas solares térmicos, instalação de bombas de calor, instalação de sistemas inteligentes, aplicação de VEVs ou a instalação de sistemas de arrefecimento *free cooling*.

2.2.4 Outros programas

O Programa Portugal 2020 será outro veículo importante na promoção da eficiência energética no setor dos edifícios, nomeadamente através Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR) e dos programas operacionais regionais (POR) (DGEG, 2014).

Estes programas apoiam projetos de eficiência energética e reabilitação urbana nas habitações particulares, habitações sociais, empresas e administração pública local e central. Os subsídios atribuídos são de natureza reembolsável, exceto para a habitação social, e a sua atribuição está dependente do cumprimento de um conjunto de critérios de elegibilidade, por exemplo subir dois níveis a classe energética do edifício (CEDRU., 2015; Governo de Portugal, 2015b)

Existem ainda um conjunto de mecanismos, desagregados das restantes políticas, que visam promover a eficiência energética. Por exemplo, o Programa Reabilitar para Arrendar, que financia a reabilitação de imóveis destinados a arrendamento, com uma taxa fixa de 2,9 % que compreende um financiamento até 90 % dos custos com o investimento total (Governo de Portugal, 2015a).

Na legislação, a Lei 82D/2014 de 31 de dezembro prevê a redução (e até isenção) do IMI e isenção do IMT para os edifícios com classe de eficiência A e A+. Enquanto para os edifícios em que a reabilitação conduza a uma melhoria de 2 classes de eficiência, está previsto uma redução de 15 % da taxa do IMI (Fragoso, 2016).

A nível regional, na Região Autónoma do Açores existe o programa ProEnergia, que tem por objetivo incentivar a produção de energia elétrica e calorífica, essencialmente destinada ao autoconsumo, por parte das famílias, das empresas, das cooperativas, das associações sem fins lucrativos e das IPSS (CEDRU, 2015). Ao nível dos municípios também há vários exemplos de programas criados pela Camaras municipais que promovem a reabilitação urbana, a aquisição de tecnologias eficientes e as fontes de energia renovável.

2.3 Caracterização energética dos edifícios em Portugal

2.3.1 Edifícios residenciais

2.3.1.1 Evolução do parque edificado habitacional

Segundo dados dos Censos 2011, o parque habitacional em Portugal é composto por cerca de 3,6 milhões de edifícios de habitação familiar clássica e 5,9 milhões de alojamentos familiares clássicos. Quando dividimos o n.º de alojamentos pelo de edifícios obtemos um rácio de “n.º de alojamentos por edifício” de 1,7, que nos permite comprovar o pouco peso que a construção em altura tem no país (INE, 2012).

Na figura 2.7 podemos observar a distribuição da população e alojamentos no território. É de notar a predominância de ocupação das regiões do litoral e estagnação das regiões do interior. Em 2011, quase 70 % dos alojamentos familiares clássicos concentravam-se nas regiões do litoral,

principalmente na área que cobre a faixa costeira entre as regiões de Minho-Lima e Península de Setúbal e no Algarve. (INE/LNEC, 2013).

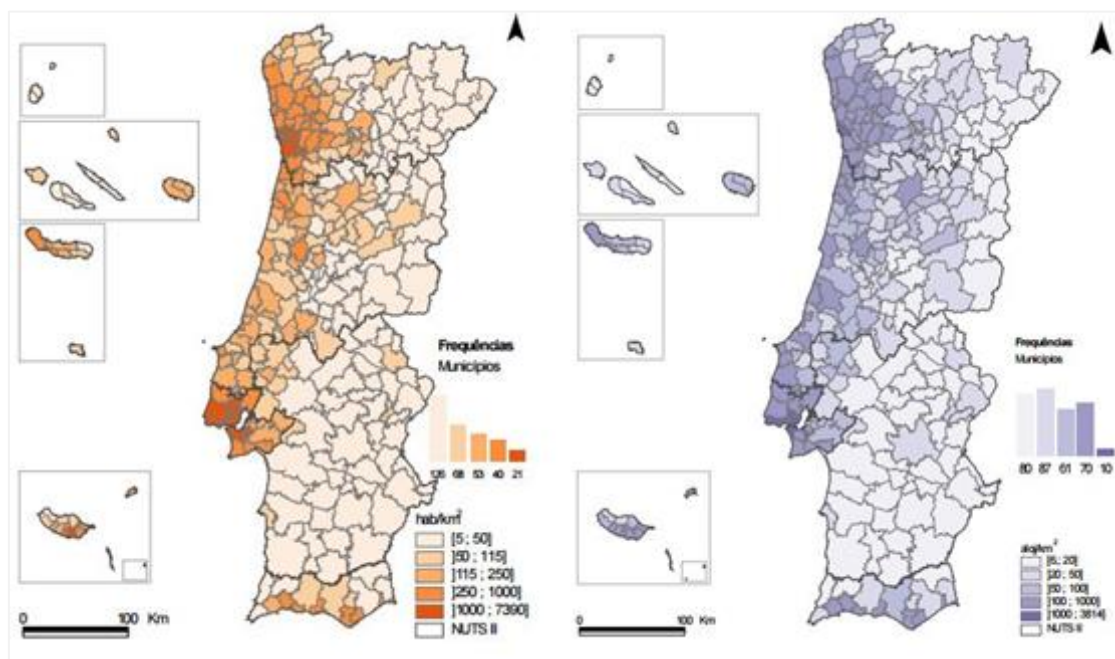


Figura 2.7 Distribuição da população (esquerda) e dos alojamentos (direita) por município, em 2011 (Adaptado de Censos, 2011)

Portugal sempre foi um país virado para a construção de nova habitação, assim como sempre se privilegiou a construção em quantidade ao invés da qualidade. Aliás, desde a década de 80 que o crescimento do número de alojamentos foi sempre superior ao do número de famílias (INE/LNEC, 2013) e, em 2008, já existiam cerca de 32 % mais habitações do que famílias (Valente Rosa & Chitas, 2009). Como consequência do contínuo crescimento do número de habitações, entre 1991 e 2011, começou-se a assistir a um crescimento da habitação de residência secundária ou de uso sazonal (19 % em 2011) e dos alojamentos vagos (13 % em 2011) (INE/LNEC, 2013).

Das habitações que constituem residência habitual, 73 % é ocupada pelos proprietários ou coproprietários, 20 % está em regime de arrendamento ou subarrendamento e 7 % configura outras situações, como cedências gratuitas ou ocupação enquanto porteiro(a). Importa referir que Portugal é um dos países da UE com maior proporção de alojamentos ocupados pelos proprietários (INE/LNEC, 2013). A justificação deste comportamento decorre das facilidades de acesso ao crédito bancário pelas famílias após a adesão de Portugal ao euro (Valente Rosa & Chitas, 2009).

Contudo, os últimos anos têm sido marcados pela estagnação do segmento de nova habitação. Até de 2008, o parque habitacional crescia a uma taxa média superior a 1 % ao ano. Com a crise económica, as taxas de crescimento abradaram, registando um mínimo de 0,1 % em 2015 (INE/LNEC, 2013; INE, 2016b).

Apesar do abrandamento registado nos anos imediatos à crise económica, os fortes ritmos de crescimento durante as décadas anteriores fazem com que Portugal tenha um parque habitacional relativamente recente, sobretudo quando comparado com os restantes países da UE (figura 2.8) (INE/LNEC, 2013).

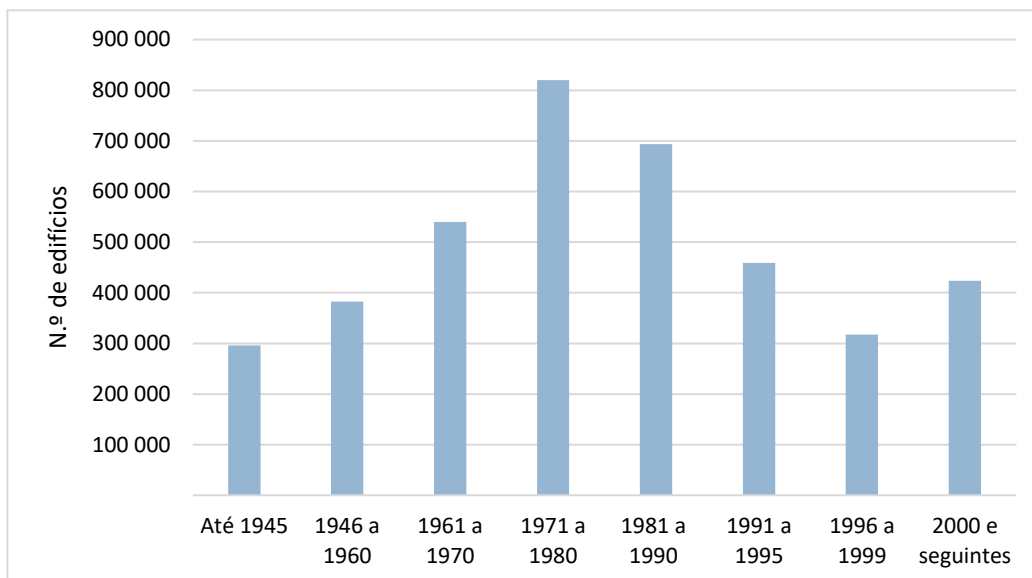


Figura 2.8 – Distribuição dos edifícios por época de construção (Adaptado de INE; DGEG, 2011)

Da análise da figura anterior, podemos identificar os anos 70, 80 e 90 como os períodos de maior construção em Portugal. Globalmente, os edifícios construídos depois de 1971 constituem 63 % do parque habitacional, enquanto os edifícios construídos posteriormente a 2000 representam cerca de 11 % do total de edifícios. No espectro oposto, os edifícios com mais de 65 anos representam 14 % do total de edifícios, valor bastante inferior à média europeia que teve um período de forte construção neste período, em virtude dos acontecimentos ocorridos na Segunda Guerra Mundial.

Caracterizar o parque habitacional pela época de construção permite compreender as carências ao nível dos materiais de construção e técnicas construtivas. Em Portugal, a maioria dos edifícios foram construídos numa altura em que a regulamentação relativa ao desempenho energético era muito limitada ou inexistente (BPIE, 2011). A falta de normas ao nível do comportamento térmico dos edifícios é visível no reduzido número de habitações que apresenta isolamentos nas fachadas e coberturas ou vãos duplos nas janelas (figura 2.9 e 2.10). Por exemplo, os isolamentos só foram integrados nas técnicas de construção, entre as décadas de 70 a 90, após a introdução das paredes de tijolo duplas (L. Silva, 2007).

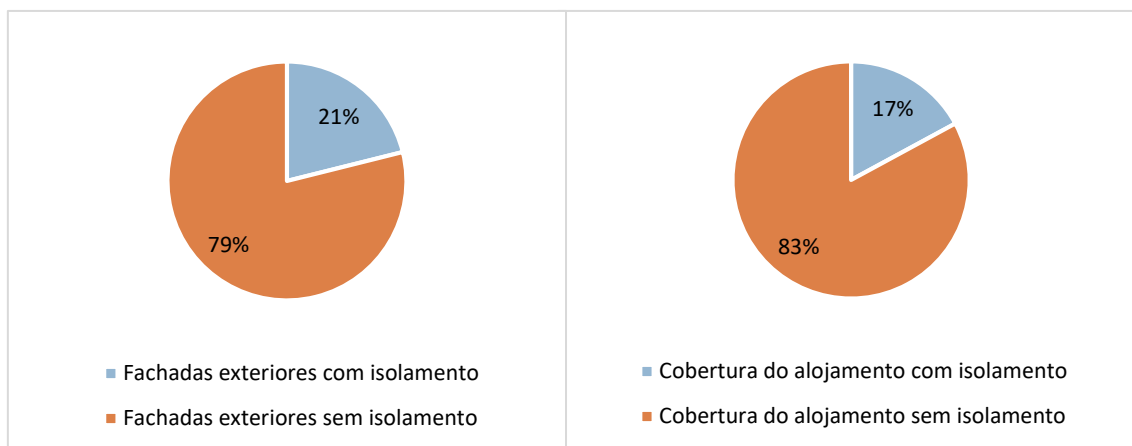


Figura 2.9 – Alojamentos em Portugal com isolamento nas fachadas e coberturas em 2010 (Adaptado de INE; DGEG, 2011)

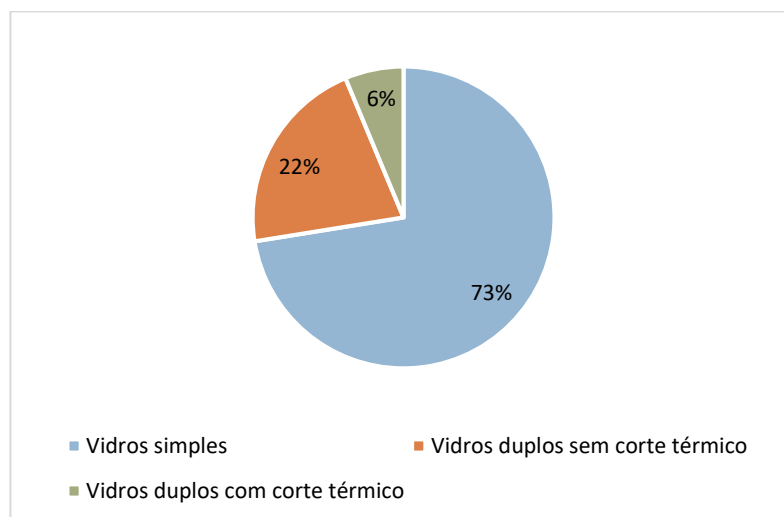


Figura 2.10 – Alojamentos em Portugal por tipologia de vidros (Adaptado de INE; DGEG, 2011)

2.3.1.2 Uso da energia

O sector doméstico tem sofrido alterações significativas na estrutura de consumo de energia nas últimas duas décadas. Por norma, a estrutura do consumo final de energia é o reflexo da estrutura da economia e do seu nível de desenvolvimento, deste modo, a perda de poder de compra das famílias reflete-se na diminuição do consumo privado, o que contribuí para um uso da energia mais moderado e controlado (ADENE, 2015; Amador, 2010). Na figura 2.11 está representada o consumo de energia por fonte de energia e a despesa associada para o ano de 2010.

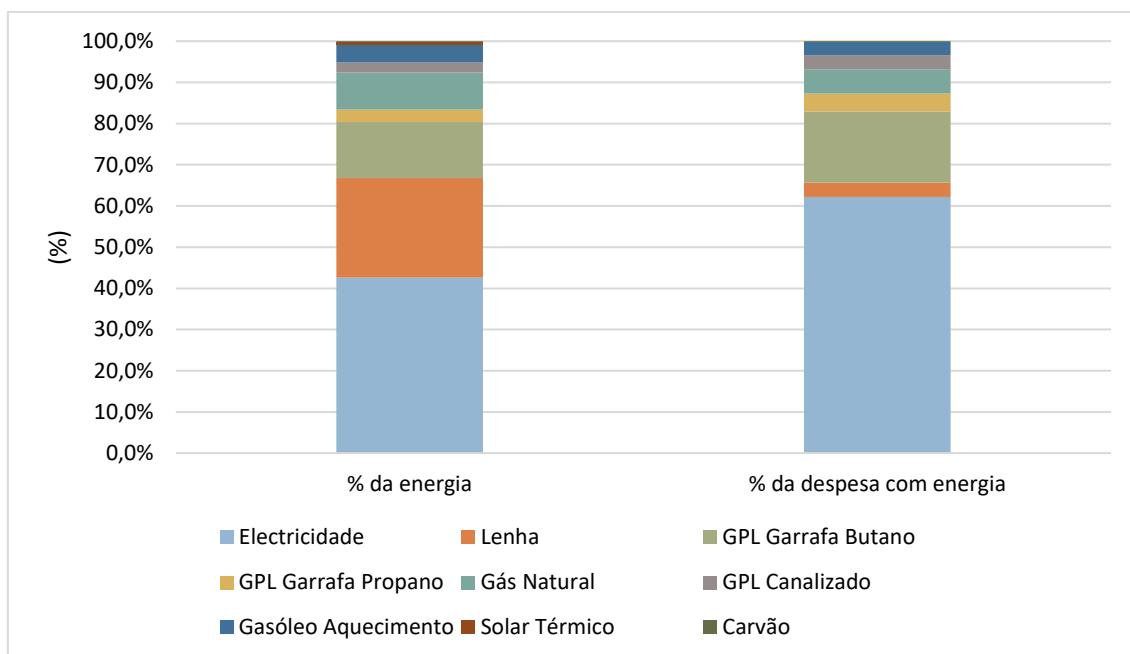


Figura 2.11 – Distribuição dos consumo e despesa por fonte de energia no setor residencial (Adaptado de INE; DGEG, 2011)

A eletricidade é a principal e mais comum fonte de energia utilizada no setor doméstico, responsável por 43 % do consumo global e presente em 99,9 % dos alojamentos. O peso da eletricidade é ainda mais significativo na despesa total das famílias, correspondendo a uma despesa global superior a dois mil milhões de euros. Desde 2000, o consumo de energia elétrica aumentou 18 %, sobretudo impulsionado pelo aumento do número de equipamentos consumidores de energia e das ineficiências resultantes quer dos próprios equipamentos consumidores utilizados no sector, edifícios incluídos, quer dos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos (Direcção Geral de Energia & Ministério da Economia, 2002; INE/DGEG, 2011).

A lenha, que engloba a biomassa e o carvão vegetal, foi até ao ano de 2002 a fonte de energia mais consumida nas habitações e é atualmente segunda fonte de energia mais consumida no setor (Direcção Geral de Energia & Ministério da Economia, 2002; INE/DGEG, 2011). O elevado consumo de lenha em Portugal é justificado pelo baixo custo de aquisição.

O consumo de gás natural apresenta uma evolução positiva desde a sua introdução em território nacional, em 1996. No entanto, uma quantidade significativa do gás consumido no setor continua a provir das garrafas de butano (INE/DGEG, 2011).

O solar térmico tem apresentado ritmos de crescimento modestos, representando cerca de 1 % do consumo total do setor residencial (ADENE, 2015; INE/DGEG, 2011). Nos próximos anos prevê-se que o solar térmico venha a ter maior expressão na estrutura de consumo do setor, refletindo a regulamentação imposta pela Diretiva EPBD.

Em termos de utilizações finais (figura 2.12), considerando a categorização adotada no Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico (ICESD), a categoria “Cozinha” foi onde se verificou os maiores consumos, cerca de 39 % do total consumido. No entanto, importa referir que esta categoria engloba os equipamentos destinados à preparação de refeições, equipamentos de frio, máquinas de lavar e secar roupa e máquina de lavar a loiça.

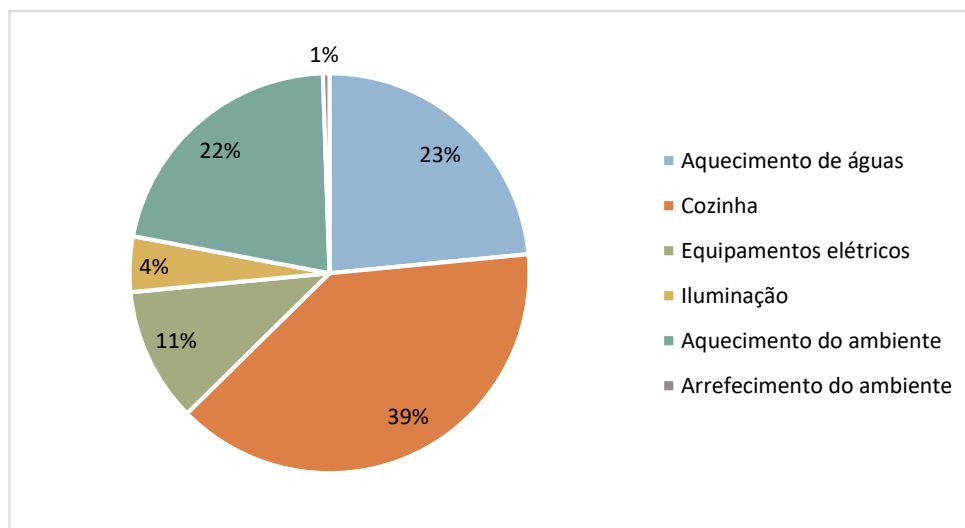


Figura 2.12 - Distribuição dos consumos de energia no setor residencial por tipo de utilização final (INE; DGEG, 2011)

As outras categorias onde registaram-se maiores consumos foram no aquecimento das águas sanitárias (23 %), aquecimento do ambiente (22 %) e nos equipamentos elétricos (11 %), sendo que nesta última categoria estão incluídos os equipamentos de entretenimento e os equipamentos elétricos de apoio às tarefas domésticas que não foram englobados na categoria da cozinha.

Nos últimos anos, tem se assistido à introdução gradual de equipamentos elétricos na habitação, que, não obstante terem melhorado significativamente as condições de conforto, traduziram-se num acréscimo no consumo. Na figura 2.13 está representada a evolução que ocorreu ao nível do número de equipamentos elétricos. Segundo Grilo (2012), os equipamentos na habitação podem ser agregados em três categorias:

1. Tendencialmente universais: Equipamentos presentes em praticamente todas as habitações como fogão, frigorífico, televisão e máquina de lavar a roupa;
2. Crescimento rápido e potencial crescimento futuro: equipamentos como micro-ondas, TV por cabo, computador;
3. Crescimento lento com tendência para a saturação: equipamentos como máquinas de lavar louça, ar-condicionado, aspirador.

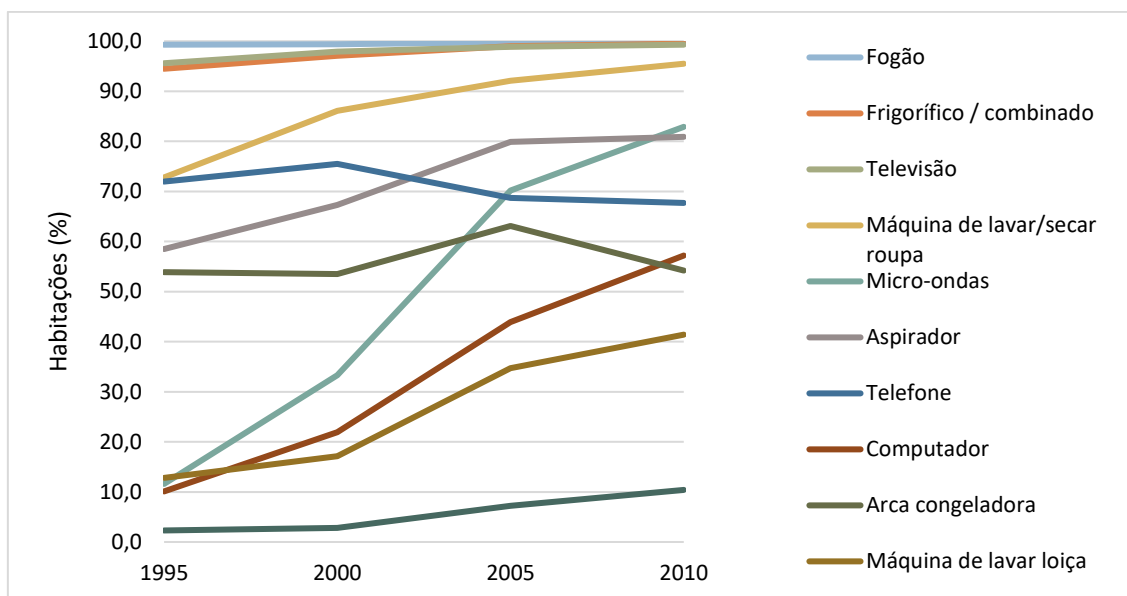


Figura 2.13 – Evolução dos principais equipamentos domésticos, no período 1995-2010
(Adaptado de (Pordata, 2015))

Segundo os dados do ICESD (2011), a maioria das famílias portuguesas (78 %) utiliza um ou mais equipamentos para aquecimento do ambiente. Pelo contrário, apenas 23 % das famílias dispõem de um equipamento para arrefecimento do ambiente. Para aquecimento do ambiente, os equipamentos mais comuns são os aparelhos móveis elétricos (61 %), seguido das lareiras abertas (24 %) e das lareiras com recuperador de calor (11 %). Com menor relevância, os ares-condicionados (bomba de calor), as caldeiras para aquecimento central por circulação de água, as salamandras e os aquecedores a GPL foram os outros tipos de equipamentos identificados para aquecimento do ambiente.

Para arrefecimento do ambiente, os ventiladores, maioritariamente sem termóstato, são os equipamentos que é mais frequente encontrar nos fogos, seguido dos ares-condicionados com a função de aquecimento e arrefecimento (bomba de calor) e dos ares-condicionados só com a função de arrefecimento.

Para preparação de AQS, os esquentadores são os equipamentos mais vezes encontrados nos alojamentos (79 %), seguido das caldeiras (12 %) e dos termoacumuladores (11 %). Em relação às caldeiras, importa referir que em 55 % dos casos a fonte de energia utilizada para o seu funcionamento foi a biomassa (INE/DGEG, 2011).

Através dos dados do Observatório Solar Térmico, também estimou-se que cerca de 300 milhares de edifícios (residenciais e comerciais) tinham sistemas solares térmicos, em 2015 (APISOLAR, 2015).

Na categoria dos grandes eletrodomésticos, destacam-se o frigorífico/combinado e a máquina de lavar a roupa como os equipamentos mais vezes encontrados nos alojamentos. Os outros equipamentos encontrado foram a arca congeladora (48 %), a máquina de lavar loiça (41 %) e a

máquina de secar a roupa (19 %). Na figura 2.14 está representada a distribuição das classes de eficiência destes equipamentos.

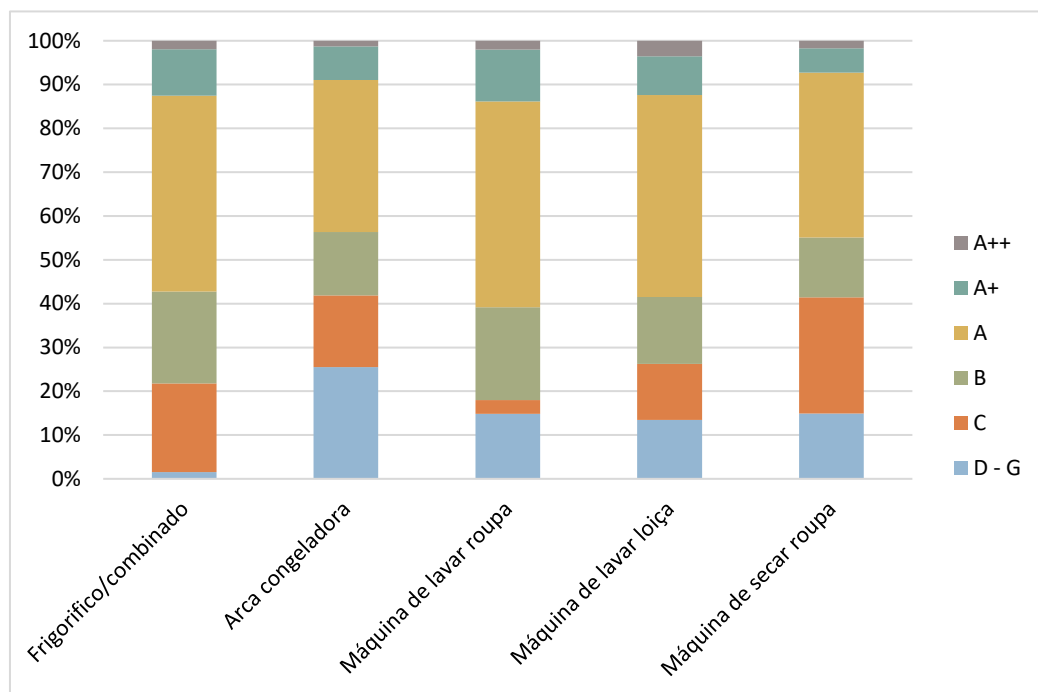


Figura 2.14 – Distribuição das classes de eficiência energética na categoria dos grandes eletrodomésticos (Adaptado de INE/DGEG, 2011)

Do gráfico da figura anterior, é de realçar que cerca de 56 % dos equipamentos estão classificados nas classes de eficiência A, A+ e A++, especialmente na primeira. No entanto, também há uma grande quantidade de frigoríficos/combinaos nas classes B e C (41 %), ao passo que nos restantes equipamentos há ainda uma quantidade significativa de equipamentos das classes D a G.

Na categoria dos pequenos eletrodomésticos, o ferro de engomar (92 %), o micro-ondas (82 %) e o aspirador (75 %) foram os equipamentos mais vezes encontrados. Enquanto na categoria de entretenimento e informática, a televisão está presente em praticamente todos os alojamentos, seguido do computador (59 %), leitor de DVD (47 %) e rádio (41 %).

Na categoria da iluminação, as lâmpadas do tipo incandescente estavam a ser utilizadas por cerca de 81 % dos alojamentos, seguido das fluorescentes (78 %) e das lâmpadas economizadoras (68 %). Neste estudo, as lâmpadas LED apenas estavam presentes em 3 % dos alojamentos, todavia, considera-se que estas possam ter uma maior utilização atualmente.

2.3.2 Edifícios de comércio e serviços

2.3.2.1 Evolução do parque empresarial

Os edifícios destinados ao setor do comércio e serviços (também denominado por setor terciário ou somente de serviços) são compostos pelas seguintes organizações: escritórios; escolas; hospitais; hotéis e restaurantes; edifícios de desporto; comércio; e outros (figura 2.14). Segundo dados dos Censos 2011, cerca de 70 % dos empregos nacionais estão alocados ao setor.

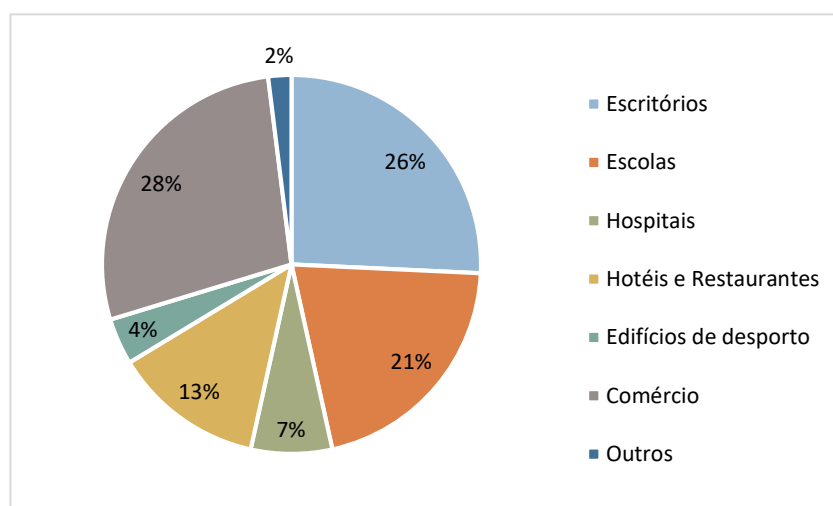


Figura 2.15 – Desagregação dos edifícios de comércio e serviços por ramo de atividade (Adaptado de DGEG, 2014)

Em Portugal, os edifícios afetos ao setor terciário representam cerca de 23 % do total da área edificada (DGEG, 2014). Adicionalmente, há edifícios que configuram ambos os tipos de utilização, uns com maior área afeta a habitação e outros com maior parte da área afeta à área comercial. Em geral, estes últimos são os que apresentam estados de conservação mais graves e, por conseguinte, maiores necessidades de intervenções (INE/LNEC, 2013).

2.3.2.2 Uso de energia

Os edifícios do setor terciário apresentam uma enorme heterogeneidade, desde a pequena loja que tem ainda menos consumos do que uma habitação, até aos restaurantes, piscinas cobertas, hospitais, hotéis e grandes superfícies comerciais, cujos consumos são dos mais elevados dentre os que se verificam em todos os edifícios (Direcção Geral de Energia & Ministério da Economia, 2002).

Na figura 2.16 pode-se observar o consumo de energia por fonte, em 2015. Comparativamente ao setor residencial, o consumo de eletricidade revela-se ainda mais predominante face às outras fontes de energia, representando cerca de três quartos do consumo total de energia. E a tendência é de crescimento: o consumo de energia elétrica aumentou cerca de 45 %, no período 2000 a

2010. Entre 2010 e 2013, registou-se uma diminuição justificada pela recessão económica, tendo voltado a crescer em 2014 (ADENE, 2015).

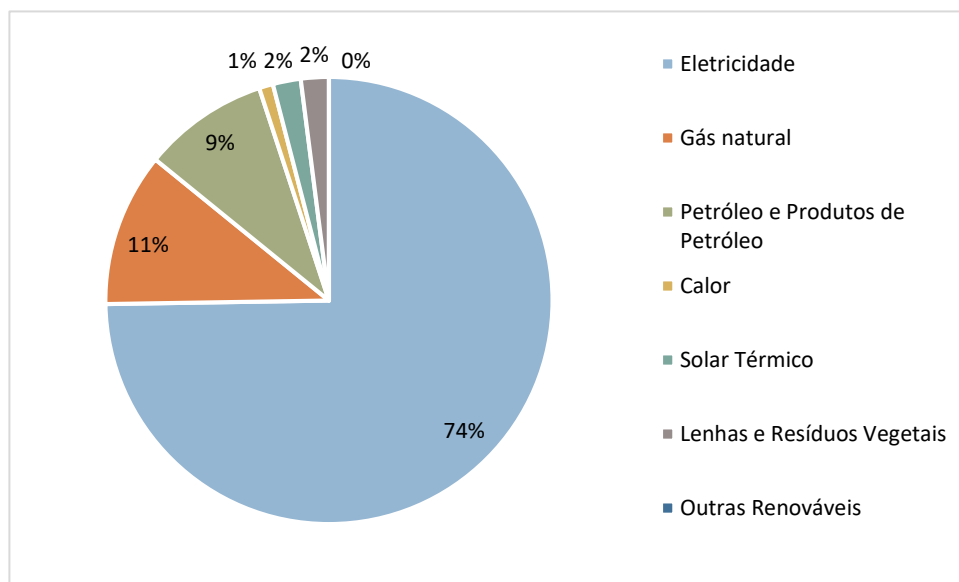


Figura 2.16 – Consumo por fonte de energia no setor do comércio e serviços em 2015 (Adaptado de DGEG, 2016a)

Tal como no setor residencial, o consumo de gás natural é caracterizado por uma evolução positiva desde a sua introdução em Portugal, no final de 1996, sendo atualmente a segunda fonte de energia mais consumida. Pelo contrário, o consumo de petróleo e produtos de petróleo diminuiu 32 % em termos globais, no período 2000-2013 (ADENE, 2015). Entre as fontes de energia renovável (excluindo a eletricidade), o maior consumo pertence ao solar térmico, ainda que à semelhança do setor residencial, o consumo seja pouco expressivo.

Segundo o relatório “Energia Portugal 2001”, elaborado em conjunto pelo Ministério da Economia e Direção Geral da Energia (antiga DGEG) (2002), foram três os fatores que explicam o acentuado crescimento do consumo de energia, particularmente da energia elétrica, entre os anos 1980 e 1999, no setor terciário: 1) o crescimento da própria atividade económica do sector; 2) níveis de exigência e critérios de qualidade crescentes no exercício das atividades; 3) marcadas ineficiências nos sistemas consumidores, quer dos equipamentos, quer dos edifícios. Apesar deste relatório ter sido realizado em 2002, consideram-se que os fatores para o contínuo aumento do consumo de eletricidade possam ser os mesmos.

Em termos de utilizações finais, a falta de estudos sobre o setor terciário a nível nacional não permite fazer esta caracterização para o caso português. Por esta razão, foi analisado o uso de energia elétrica por tipo de utilização final nos edifícios europeus (figura 2.17).

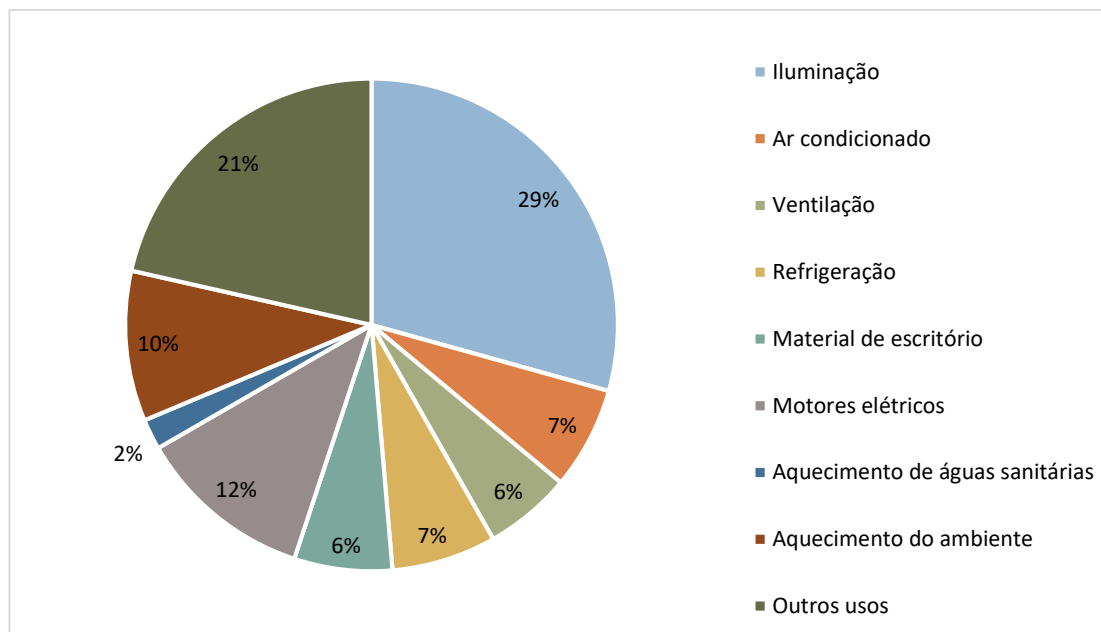


Figura 2.17 – Distribuição do consumo de energia no setor terciário por tipo de utilização final (Adaptado de Gruber et al., 2008)

Em praticamente todos os subsetores, a iluminação é a categoria que apresenta um maior peso, em média, esta representa 29 % do consumo total de energia elétrica. A categoria referente aos “outros usos” abrange maioritariamente o consumo específico de cada sector, estes consumos são particularmente importantes nos edifícios da área da saúde (*e. g.* hospitais, centros de saúde) devido à multiplicidade de equipamentos destinados aos cuidados médicos.

Relativamente às restantes utilizações, é de realçar o peso dos motores elétricos em grandes superfícies (*e. g.* centros comerciais, hospitais, escolas, piscinas) e os gastos com climatização, em praticamente todos os subsetores.

2.4 Eficiência energética nos edifícios

2.4.1 Desafios e oportunidades

O tempo de vida útil de um edifício varia entre os 35 e os 70 anos, dependendo do tipo de edifício e da sua localização geográfica. Nos países desenvolvidos a média é de 65-70 anos (McKinsey&Company, 2009). Durante este período, o envelhecimento natural dos materiais, a diminuição da eficiência nominal dos equipamentos e a falta de manutenções periódicas são problemas que afetam o seu desempenho energético.

Genericamente, existem três formas de melhorar o desempenho energético de um edifício: 1) através da orientação e design do fogo, assim como da escolha de materiais de elevada qualidade para o isolamento das fachadas e coberturas, que garantam necessidades mínimas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação; 2) através da implementação de novas tecnologias e da

substituição dos equipamentos antigos por outros novos, mais eficientes; 3) através de medidas que possibilitem gerir ativamente os consumos de energia (World Bank, 2014).

Os estudos que têm vindo a ser desenvolvidos na área indicam que o maior potencial de redução do consumo energético é o oferecido pelos novos edifícios. A principal razão deve-se ao facto de estes poderem integrar estratégias de climatização passiva, ainda nas fases embrionárias do projeto, que reduzem significativamente as necessidades de climatização com recurso a sistemas mecânicos (McKinsey&Company, 2009; World Bank, 2014).

No entanto, dadas as baixas taxas de novas construções, estima-se que aproximadamente 75 % dos edifícios europeus que existiram em 2050 já se encontrem construídos (Urge-Vorsatz et al., 2012). O que vem acentuar a necessidade de atuar sobre os edifícios existentes.

Na literatura, vários estudos estimam os potenciais de poupança das medidas de eficiência energética, para diferentes contextos: desde o impacto de uma medida individualizada ou de um pacote de medidas; e usando diferentes metodologias de cálculo: Top-down (*e.g.* indicadores calculados a partir estatísticas nacionais) e Bottom-up (*e.g.* medições diretas, análise de faturas/auditorias/vendas, parâmetros harmonizados) (Wuppertal Institute, 2009).

Em Portugal, Grilo (2012) estimou um potencial de poupança de 45 % no setor residencial, através da substituição de equipamentos (eletrodomésticos e iluminação), alterações construtivas e instalação de sistemas solares térmicos. Enquanto Sequeira (2016) identificou um potencial de poupança técnico de 39 % no pequeno comércio, com a substituição de equipamentos elétricos.

No estudo EcoFamílias II, a introdução (ou reforço) de isolamento térmico na envolvente construtiva resultou, em média, numa poupança de 35 % do consumo de energia em climatização. Ao passo que, a mudança de comportamento apresenta poupanças potenciais entre 5–20 %, segundo Gynther et al. (2015).

Na área da climatização e do aquecimento de águas, as maiores oportunidades estão no uso de sistemas centralizados. Estes sistemas são geralmente mais eficientes que os individuais e utilizam fontes de energia hipocarbónicas (IPCC, 2014). Outra inovação tecnológica colocada ao serviço dos consumidores são os sistemas inteligentes. Este tipo de sistemas permite caracterizar a evolução dos consumos de energia em períodos de tempo relativamente curtos e assim facilmente detetar situações de ineficiência energética (Governo de Portugal, 2014).

Apesar do potencial estar identificado e a melhoria da eficiência energética nos edifícios ser apontada como uma prioridade ao mais alto nível organizacional (*e. g.* CE, Governo de Portugal), a procura não tem acompanhado a oferta de soluções tecnológicas e o potencial tem ficado por explorar.

Um dos desafios à promoção da eficiência energética passa por atribuir-lhe uma dimensão social. A eficiência energética pode dar um impulso à economia portuguesa, cria empregos e melhora significativamente as condições de conforto nas habitações. A este respeito, as ESCOs podem representar um veículo importante na promoção da eficiência energética, sobretudo em projetos de menores dimensões e com reduzida massa crítica (Governo de Portugal, 2014).

2.4.2 Benefícios

A eficiência energética deve seguir o seu potencial económico (CE, 2011b). No entanto, o impacto das medidas de eficiência energética pode ir para lá das poupanças energéticas e pode ser sentido a diferentes níveis da economia: consumidores – tanto dos agregados familiares como as empresas; sectorial; nacional; internacional.

No relatório *Spreading the net: The multiple benefits of energy efficiency improvements*, elaborado por Ryan *et. al.*(2012) em colaboração com a IEA, estão identificados os benefícios para cada um dos níveis mencionados acima:

Consumidores (Famílias e Empresas)

1. Saúde e bem-estar

A saúde e bem-estar dos cidadãos está intrinsecamente ligada às condições existentes no interior dos edifícios. As baixas temperaturas têm um impacto direto no aparecimento de doenças cardiovasculares (Braubach, Jacobs, & Ormandy, 2011), enquanto o aparecimento de doenças respiratórias e asma em crianças têm sido fortemente correlacionados com as baixas temperaturas, humidade e bolores nas habitações (Ryan & Campbell, 2012). Em Portugal, a presença destes problemas é motivo para alguma preocupação. A título de exemplo, em 2007, cerca de 20 % das habitações em Portugal tinha problemas com humidade, um dos valores mais altos na UE (ENHIS, 2009).

As medidas de eficiência energética também têm influencia na melhoria da qualidade do ar interior. Este é um problema que afeta mais os países em desenvolvimento e que pode resultar da combustão ineficiente dos combustíveis (*e. g.* biomassa, carvão) ou ainda do tipo de equipamento usado (Wilkinson *et al.*, 2009)

2. Alívio da pobreza energética

A pobreza energética é um problema que afeta as classes sociais mais baixas e que se reflete na incapacidade das famílias para aquecer as suas habitações no inverno ou arrefecê-las no verão. Tal como referido no ponto anterior, a falta de conforto higrotérmico pode ter consequências graves para a saúde. Este problema resulta da combinação de três fatores: elevados preços da energia; limitações financeiras das famílias; habitações ineficientes (BPIE, 2014).

Em Portugal, dados do Eurostat (2016b) indicam que cerca de 24 % dos agregados familiares não têm capacidade para aquecer as suas casas no inverno, um dos valores mais elevados entre os países da UE.

3. Aumento do rendimento disponível

Uma consequência direta da implementação de medidas de eficiência energética é a de aumentar o rendimento mensal disponível, uma vez que as faturas energéticas diminuem. Porém, este rendimento vai depender da forma como as medidas são financiadas, nos casos em que o

consumidor tem de cobrir todo o investimento inicial, este só vê o seu rendimento aumentar após término do período de retorno do investimento (Mzavanadze, Kelemen & Ürge-Vorsatz, 2015; Ryan & Campbell, 2012).

Setorial (Residencial e Comércio e Serviços)

4. Valorização dos bens

Vários estudos na literatura apontam para uma valorização de edifícios que apresentem melhores desempenhos energéticos. A valorização pode ser sentida no valor de mercado do imóvel ou no aumento da procura para arrendamento (Ryan & Campbell, 2012). Este tipo de análise foi realizada por Chegut et al. (2016) para o mercado imobiliário na Holanda, cujos resultados indicam que a melhoria da eficiência energética de uma habitação de classe C para uma classe A resultaria numa valorização de cerca de dez mil euros ao valor atual de mercado, ao passo que a alteração de uma classe B para A resultaria numa valorização de três mil euros. O mesmo estudo indica que a existência de isolamentos de qualidade e de sistemas de aquecimento centralizados são elementos valorizados pelos consumidores holandeses.

Portugal

5. Criação de emprego

A nível nacional, a criação de emprego pode ser uma das maiores motivações para melhorar a eficiência energética. No âmbito da Reforma Fiscal Verde (RFV) foi avaliado o impacto que um ganho anual de 2 % em eficiência energética teria no cenário macroeconómico, com recurso ao modelo TIMES_PT. Os resultados obtidos pelo modelo apontam para um crescimento modesto ao nível do emprego, com o impacto apenas a ser sentido a partir de 2030 (Pereira & Pereira, 2014). Segundo outro estudo, desta feita realizado pela Cambridge Econometrics (2015), o fraco impacto que a eficiência energética tem na criação de emprego, em economias como a de Portugal, deve-se ao elevado peso que o setor terciário tem na economia.

No entanto, para o setor da construção a eficiência energética pode representar um real contributo para a recuperação dos empregos perdidos durante a crise económica. Em Portugal, entre 2008 e 2011, verificou-se uma redução de 23 % do número de empregados neste sector (INE/LNEC, 2013).

6. Redução da despesa pública

Em países com uma elevada dependência energética para o exterior, como é o caso de Portugal, a melhoria da eficiência energética pode significar uma redução das exportações de combustíveis fósseis. Por outro lado, o aumento da eficiência energética também pressupõe uma diminuição das receitas com impostos.

A melhoria da eficiência energética em edifícios públicos é outra das formas de reduzir a despesa pública e de equilibrar orçamentos. No entanto, face à necessidade de financiar estas medidas, por via de instrumentos financeiros, numa fase inicial é expectável que a despesa venha a aumentar.

7. Segurança energética

Assegurar o fornecimento de energia a todos os Estados-Membros da UE faz parte da Estratégia europeia para a segurança energética (CE, 2014b). No domínio do fornecimento de energia, as maiores preocupações da CE referem-se à instabilidade política que afeta a maior parte dos fornecedores externos e a volatilidade dos preços de energia.

Enquanto Estado-Membro da EU, Portugal pode dar um contributo para este objetivo através da moderação da procura energética, que pode ser obtida, por exemplo, através de ganhos de eficiência (CE, 2014b).

8. Impactos macroeconómicos

Os impactos macroeconómicos resultantes da melhoria da eficiência energética podem incluir o crescimento do PIB, a melhoria do défice da balança comercial, um aumento da competitividade das empresas ou, como já referido, a criação de emprego (Ryan & Campbell, 2012).

No estudo de Pereira et al. (2014), os ganhos de eficiência tinham um impacto positivo nas variáveis macroeconómicas, incluindo o crescimento do PIB, aumento do consumo privado, aumento dos salários e das importações de energia.

Neste cenário, o setor da construção pode desempenhar um papel importante no crescimento da economia, uma vez que é o mais capaz de reagir rapidamente para apoiar o relançamento da economia, assim como é o que está menos exposto à deslocalização (CE, 2014a).

União Europeia e Mundo

9. Redução das emissões de GEE

Em muitos países, as políticas de promoção de eficiência energética estão alinhadas com as metas para a redução de emissões de GEE (IEA, 2014). Por comparação com outras estratégias de redução de emissões, a melhoria da eficiência energética tem a vantagem de ter um custo inicial de investimento inferior e de poder ser implementada rapidamente (Ryan & Campbell, 2012).

Nos últimos anos, as emissões provocadas pelo consumo energético descolaram do crescimento económico, um sinal dos progressos realizados no desenvolvimento de tecnologias mais limpas (IEA, 2015).

10. Moderar os preços energéticos

Com base nas leis da procura e da oferta, sabemos que a diminuição da procura por um bem ou serviço faz diminuir o seu preço. Deste modo, embora os preços praticados nos mercados de

energia sejam influenciados por outros fatores (*e. g.* dos custos da rede), é expectável que a melhoria da eficiência energética cause uma diminuição nos preços da energia (Ryan & Campbell, 2012).

No entanto, se continuarem a ser realizados investimentos no lado da oferta, que aumentam significativamente o custo da rede, é expectável que a descida dos preços provocada pelos ganhos de eficiência não venha a ser sentida pelos consumidores.

11. Gestão dos recursos naturais

O alívio da pressão sobre os recursos naturais é outro dos benefícios que, embora não possa ser mensurável, deve ser equacionado a favor da eficiência energética. À medida que a escassez (não física, mas económica) dos combustíveis fósseis aumenta, tem-se assistido a uma cada vez maior exploração de reservas não convencionais, como são as areias betuminosas, o gás de xisto ou as reservas de gás e petróleo do ártico, com consequências graves para os ecossistemas (Erbach, 2014; Schmidt, 2011).

12. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

No domínio dos objetivos para o desenvolvimento sustentável, a melhoria da eficiência energética desempenha um papel importante para garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas, principalmente nos países em desenvolvimento. A eficiência energética é igualmente uma importante ferramenta de mitigação do impacto das alterações climáticas.

Garantir a sustentabilidade dos recursos, aumentar a resiliência das cidades e infraestruturas e ajudar a promover um crescimento económico inclusivo e sustentável são outros dos objetivos em que a eficiência energética pode desempenhar um papel importante.

Em suma, não obstante estes múltiplos benefícios estarem documentados e terem um impacto significativo a vários níveis da economia, a falta de métodos e dados que avaliem estes benefícios faz com que sejam muitas vezes esquecidos pelas políticas e programas (IEA, 2014).

2.4.3 Barreiras

No setor dos edifícios, as barreiras à implementação de medidas de eficiência energética são motivadas ora pela natureza humana (*i. e.* cultura de inércia, comportamentos desajustados), ora pelas falhas de mercado (BPIE, 2011). Segundo a CE (2011c), as segundas são uma das causas para os progressos limitados ao nível do cumprimento das metas de eficiência energética para 2020.

Para conceber uma estratégia de promoção da eficiência energética é essencial identificar as barreiras que podem estar a bloquear os investimentos no contexto nacional ou regional (Paulou et al., 2014). Na tabela 2.5 apresentam-se as principais barreiras à eficiência energética encontradas na literatura.

Tabela 2.5 – Síntese das principais barreiras à eficiência energética (Adaptado de BPIE, 2011; Brown *et al*, 2008; Sequeira, 2016)

Tipologia	Barreiras
Custo-eficácia	Existência de externalidades não refletidas nos custos e benefícios
	Elevados custos iniciais
	Riscos tecnológicos
	Riscos de mercado
Regulatórias e fiscais	Legislação desfavorável (<i>e. g.</i> instrumentos económicos destorcedores)
	Incerteza política
Institucionais	Multiplicidade de agentes
	Incentivos mal colocados
	Bias institucional para os investimentos no abastecimento de energia
Consciencialização, informação e competências	Informação incompleta ou imperfeita
	Baixa prioridade dos investimentos em eficiência energética
	Falta de competências técnicas dos profissionais

Segundo Brown et al. (2008), a maior barreira à melhoria da eficiência energética nos edifícios deve-se ao elevado número de agentes envolvidos no processo de decisão. O facto de as prioridades nem sempre se encontrarem alinhadas, torna os investimentos num processo complexo e fragmentado.

O mesmo acontece quando o edifício é arrendado – para fins residenciais ou comerciais, tanto os proprietários como inquilinos, tendencialmente, não demonstram interesse em fazer investimentos em eficiência energética, por não retirarem o máximo benefício desse investimento. Na literatura este caso é conhecido como dilema do proprietário-arrendatário (Charlier, 2015; Schleich, 2009).

No que concerne a aquisição de equipamentos eficientes, as falhas de informação, o custo inicial do investimento e a falta de poder de compra são as maiores barreiras enfrentadas pelos consumidores. A penetração de uma nova tecnologia no mercado requer tempo para que os consumidores saibam da sua existência, para que possam testá-la e, por fim, para que transmitam aos restantes consumidores as suas vantagens (Jaffe, Newell, & Stavins, 2004). No entanto, como a decisão de substituir os equipamentos é usual ser feita sob pressão, quando os equipamentos deixam de funcionar, os consumidores acabam por não tomar uma decisão informada (CE, 2016).

Mesmo quando um consumidor toma a decisão de forma informada, como estes tendem a valorizar as poupanças imediatas face às poupanças futuras, optam por comprar a opção mais barata ao invés da opção mais custo-eficaz (de la Rue du Can, Leventis, Phadke, & Gopal, 2014).

Por vezes, o consumidor não tem capacidade para investir na opção mais eficiente, devido à pouca capacidade para investir. Nestes casos, os bancos deviam dar condições de financiamento com prazos adequados aos tempos dos projetos. No entanto, como os projetos de eficiência energética não geram cash-flows positivos, uma vez que o retorno do capital é recuperado através de poupanças (e não de receitas), os bancos têm alguma dificuldade em avaliar corretamente este tipo de projetos (Bullier & Milin, 2013).

Ao nível governamental, a existência de legislação desfavorável (*e. g.* subsídios destorcedores), aliada à baixa prioridade dada à eficiência energética têm se refletido em ganhos pouco significativos de eficiência energética. No setor dos edifícios, os efeitos das políticas só são visíveis no longo prazo, o que pode contribuir para estas não serem consideradas no imediato (BPIE, 2011). Adicionalmente, os apoios e incentivos nesta área direcionam-se especialmente para a promoção das energias renováveis (Alves & Silva, 2011).

2.5 Instrumentos de promoção da eficiência energética em edifícios

Tendo em vista a correção das barreiras mencionadas anteriormente, designadamente, as falhas de mercado, a nível europeu estão previstos um conjunto de instrumentos para a área da eficiência energética. Estes instrumentos são parte integrante das políticas energéticas nacionais e visam incentivar a adoção de decisões mais eficientes ao nível da produção, transporte, distribuição e consumo de energia (Antunes, Santos, Martinho, & Lobo, 2003). Podemos englobá-los em três grandes categorias, os instrumentos de comando e controlo ou de regulação direta; os instrumentos económicos ou de mercado; os instrumentos de informação ou de atuação voluntária (tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Síntese dos principais instrumentos de promoção da eficiência energética (Adaptado de Antunes et al., 2003)

Tipologia	Exemplos de instrumentos
Instrumentos de comando e controlo ou regulação direta	Proibições
	Normas (<i>e. g.</i> emissões, produtos, tecnológicas)
	Quotas (de consumo)
	Obrigações de rotulagem / informação
Instrumentos económicos ou de mercado	Taxas (<i>e. g.</i> emissões, produtos)
	Incentivos fiscais
	Crédito bonificado; garantias
	Isenções fiscais (reembolsáveis ou a fundo perdido)
	Impostos ao consumo (<i>e.g.</i> redução do IVA)
	Esquemas de certificados brancos
Instrumentos de informação e de atuação voluntária	Certificação energética; rotulagem energética
	Sistemas de gestão de energia (SGE)
	Acordos negociados
	Disponibilização/ divulgação de informação

Não obstante haver um vasto leque de soluções, nem sempre é possível identificar *a priori* um instrumento ótimo, que seja sempre superior aos restantes (Antunes et al., 2003). Adicionalmente, os instrumentos devem ter um papel complementar nos objetivos que pretendem alcançar e devem estar ajustados às especificidades nacionais ou regionais (Bullier & Milin, 2013).

Os instrumentos regulatórios têm a capacidade de tornar algo obrigatório ou proibido por lei e, desta forma, induzir uma mudança de atitude nos agentes (Gynther et al., 2015). A nível nacional, são exemplo deste tipo de instrumentos as obrigações ao nível dos rótulos energéticos para certos equipamentos, as proibições de venda de equipamentos de classes pouco eficientes ou os requisitos mínimos de desempenho energético para os edifícios.

Estes instrumentos são de ampla utilização ao nível dos Estados-Membros da EU, dada a sua boa aceitação pelos decisores políticos e agentes económicos em geral, que geralmente os preferem aos instrumentos económicos. A justificação deste comportamento decorre da perceção por parte dos agentes que estes instrumentos lhes geram menos encargos financeiros (Antunes et al., 2003).

Contudo, a sua utilização carece de uma estratégia de comunicação efetiva (*i. e.* complementaridade com instrumentos de informação), que garanta que os agentes entendem os benefícios do instrumento (Gynther et al., 2015).

Outras desvantagens apontadas à utilização deste tipo de instrumentos relacionam-se com o facto de não incentivar a inovação e o desenvolvimento tecnológico, e de requererem um elevado esforço ao nível do licenciamento, monitorização e contra-ordenação (Antunes et al., 2003).

Relativamente aos instrumentos económicos, a sua aplicação tem o objetivo de dar sinais claros ao mercado para investir em medidas de eficiência energética (GEOTA, 2013; Hilke & Ryan, 2012). O mercado pode receber os sinais sob a forma de incentivos (*e. g.* subsídios, empréstimos) ou sob a forma de desincentivos (*e. g.* impostos ao consumo, criação de novos mercados) (Hilke & Ryan, 2012). Dadas as assimetrias entre os vários instrumentos económicos, também é frequente estes serem usados de forma complementar (Kosonen & Nicodème, 2009).

Em geral, os instrumentos económicos podem ainda ser agregados em diferentes categorias, designadamente: (Hilke & Ryan, 2012)

- Instrumentos financeiros
 - Subsídios (a fundo perdido ou reembolsáveis);
 - Crédito bonificado, Garantias;
- Instrumentos fiscais
 - Taxas;
 - Isenções fiscais;
- Instrumentos de mercado
 - Licenças/direitos transacionáveis;
 - Certificados brancos;

Os instrumentos económicos de financiamento têm a capacidade de corrigir as barreiras de custo-eficácia das medidas de eficiência energética. Contudo, este tipo de instrumentos só deve ser usado em medidas ou pacotes de medidas que apresentem longos períodos de retorno ou para promover tecnologias inovadoras (Economidou & Bertoldi, 2014; Paulou et al., 2014). Com o amadurecimento das tecnologias, diminuem os custos e pode reduzir-se o apoio financeiro (CE, 2011b).

De acordo com de la Rue du Can (2014), tecnologias com 30-40 % de quota de mercado já não devem ser financiadas. Por outro lado, este tipo de instrumento também pode ser usado para financiar auditorias energética (Paulou et al., 2014).

Os instrumentos fiscais baseiam-se no controlo do preço da energia. Os preços mais elevados são um incentivo para os agentes investirem em eficiência energética, uma vez que reduz os períodos de retorno e aumenta o benefício líquido dos investimentos. Contudo, uma melhor estratégia passa por eliminar os subsídios à produção e isenções de impostos, que incentivam o consumo. Aliás,

subsidiar ao mesmo tempo o consumo e investimentos em eficiência energética é uma forma pouco eficiente de dar uso aos fundos públicos (Hilke & Ryan, 2012).

Os instrumentos de mercado pressupõem a criação de novos mercados que permitem internalizar as externalidades (Antunes et al., 2003). Neste segmento, os esquemas de obrigação e os certificados brancos são os mecanismos mais comuns ao nível dos Estados-Membros. Este tipo de mecanismos, direcionados sobretudo para as empresas do mercado da energia, decreta que estas têm de realizar ações que gerem poupanças de energia mínimas para os consumidores finais de energia ou, em alternativa, financiar estas ações. As ESCO também podem ser uma alternativa para implementar projetos de eficiência energética, desta feita através de contratos de performance energética (Hilke & Ryan, 2012).

Globalmente, as vantagens associadas aos instrumentos económicos são a eficiência económica, o incentivo à inovação tecnológica, o potencial de geração de receitas, a flexibilidade, o duplo dividendo e a fácil integração com outras políticas sectoriais. Apesar das vantagens enunciadas, os instrumentos de mercado são, frequentemente, difíceis de aplicar ou aplicados de uma forma sub-ótima do ponto de vista económico (Antunes et al., 2003).

Em Portugal, os instrumentos económicos são executados através de dois eixos: 1) dos programas operacionais da Estratégia Portugal 2020; 2) de mecanismos criados pelo Estado português ou entidades do setor energético, mas que não são abrangidos pelo Portugal 2020, designadamente, o PPEC, o Fundo de Eficiência Energética (FEE), o Fundo Português do Carbono (FPC) e o Fundo de Reabilitação e Conservação Patrimonial (FRPC) (CEDRU, 2015).

Em último lugar, os instrumentos de informação e de atuação voluntária têm por objetivo aumentar a disponibilidade de informação juntos dos consumidores (Antunes et al., 2003). Como referido anteriormente, são muitas vezes usados como instrumentos complementares e, frequentemente, são confundidos por serviços de energia. São exemplos deste tipo de instrumento as auditorias energéticas realizadas no âmbito dos SGE e dos certificados energéticos, assim como a informação proveniente dos sistemas de gestão do consumo e dos rótulos energéticos (Gynther et al., 2015).

Em alguns Estados-Membros da UE existem linhas de apoio ou locais onde os consumidores podem pedir aconselhamento especializado na área da eficiência energética. As empresas comercializadoras de energia também possuem um papel importante na divulgação da informação aos consumidores, nomeadamente através de sites na internet e aplicações (Gynther et al., 2015).

3. Metodologia

3.1 Abordagem ao tema

Na figura 3.1 está representado o esquema metodológico utilizado na elaboração da presente dissertação. Foram seguidas duas abordagens distintas ao tema: a primeira tem por objetivo determinar o potencial de poupança económico das medidas de eficiência energética; a segunda abordagem visa identificar as motivações, as barreiras e as oportunidades que influenciam a implementação das medidas de eficiência energética.

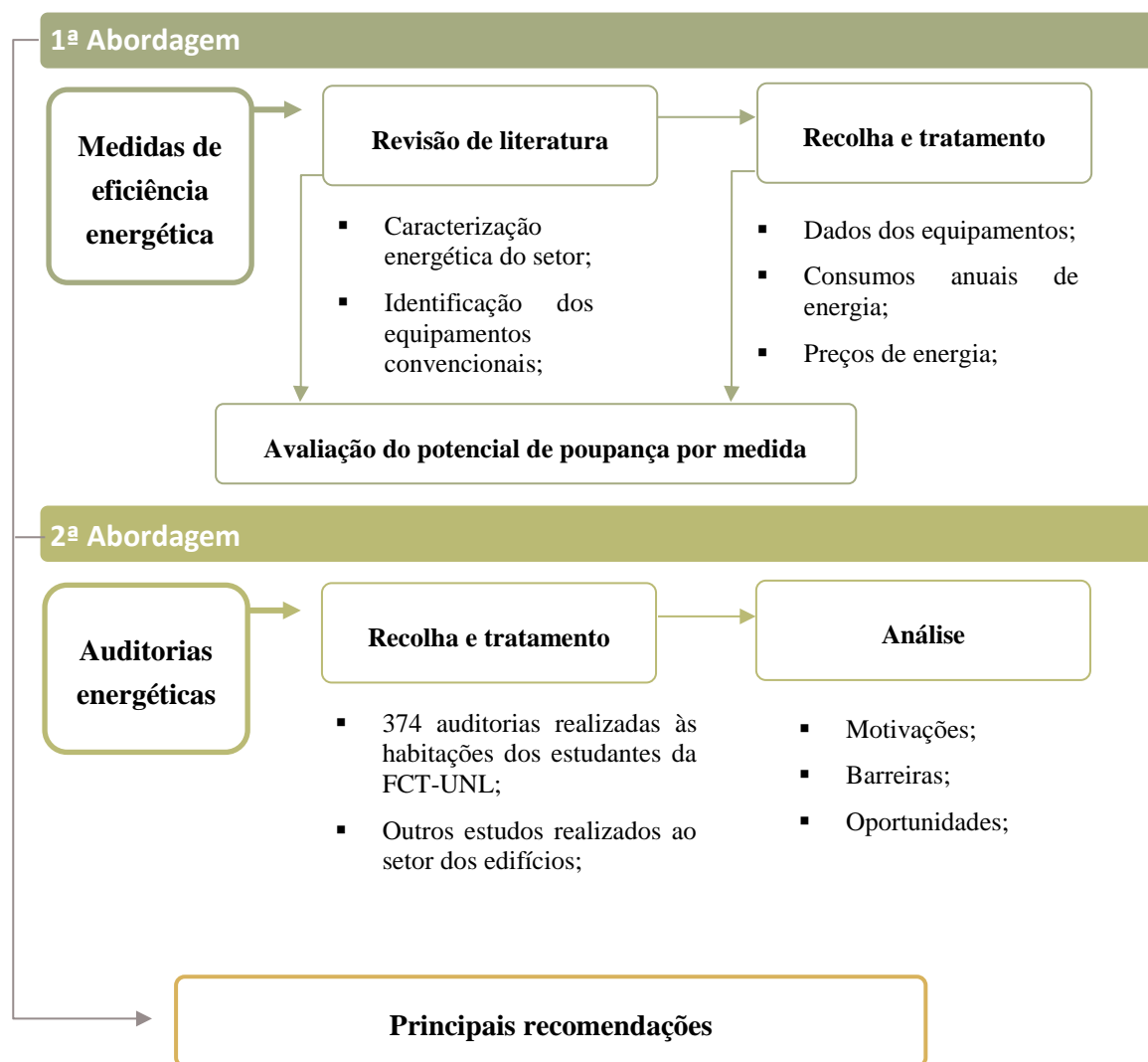


Figura 3.1 – Esquema metodológico com as principais fases do trabalho

3.2 Análise das medidas de eficiência energética

Definição do cenário de referência

As medidas de eficiência energética consideradas para o presente estudo foram aplicadas a um edifício de referência, que pretende ser representativo do parque habitacional (tabela 3.1). Esta análise incide nos equipamentos destinados à climatização e preparação de AQS, nos grandes eletrodomésticos e na iluminação. Para cada um destes usos foi simulado os consumos e custos para diferentes alternativas e comparados com os das tecnologias convencionais (cenário de referência).

Tabela 3.1 - Resumo das características de um edifício de referência em Portugal

Principais características	
Tipologia	Moradia unifamiliar T3
Número de habitantes	4
Área útil	110 m ²
Pé-direito médio	2,7 m
Área da envolvente	125 m ²
Área da cobertura	138 m ²
Área das janelas	9 m ²
Número de janelas	6
Sistema de aquecimento do ambiente	Aquecedor elétrico independente / lareira
Sistema de arrefecimento do ambiente	Não possui
Sistema de preparação de AQS	Esquentador / termoacumulador

As características do edifício e equipamentos convencionais foram definidas com base em dados estatísticos e estudos realizados ao setor residencial (ICESD; EcoFamílias II). Adicionalmente, foi necessário estimar as necessidades nominais de energia útil para aquecimento do ambiente e para preparação de AQS. Estas foram calculadas através das equações (1) e (2), respetivamente:

$$(1) Q_i = A_p \times N_i'$$

Em que:

Q_i – Energia útil para aquecimento

A_p – Área útil do pavimento (m²)

N_i' – Necessidades teóricas de aquecimento sob condições de conforto pouco exigentes (kWh/(m². ano))

$$(2) Q_a = M_{AQS} \times C_p \times \Delta T \times 365$$

Em que:

Q_a – Energia útil para preparação de AQS (kWh/ano)

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência de AQS (l/ocupante)

C_p – Calor específico da água (kWh/(l . °C))

ΔT – Variação da temperatura para a preparação de AQS

Para o cálculo da energia útil para aquecimento, é de realçar a utilização do valor sugerido por Magalhães (2016) para as necessidades teóricas de aquecimento (15 kWh/(m².ano)). Por oposição aos pressupostos assumidos pelo REH, a autora defende que os ocupantes não estão obrigados a aquecer todas as divisões de uma habitação e nem todas as divisões têm de estar à mesma temperatura.

Para o cálculo da energia útil para preparação de AQS assumiu-se um consumo de referência de água quente sanitária de 40 litros. Também foi assumido que a água sofre uma variação térmica de 35 °C, isto é, que a temperatura média da água da rede (15 °C) é elevada a uma temperatura de 50 °C.

Definição das medidas de eficiência energética

Tal como referido anteriormente, as medidas de eficiência energética estudadas na presente dissertação incidiram nas áreas da climatização, preparação de AQS, nos grandes eletrodomésticos e na iluminação. As medidas de eficiência energética consideradas são:

- Aplicação de isolamento térmico na cobertura e envolvente exterior em paredes simples;
- Substituição dos vãos envidraçados simples por duplos e aplicação de caixilharias de recorte térmico;
- Substituição dos sistemas térmicos de aquecimento do ambiente e preparação de AQS por equipamentos de alta eficiência;
- Instalação de painéis solares térmicos para preparação de AQS;
- Substituição dos equipamentos de cozinha mais consumidores (grandes eletrodomésticos) pelos equivalentes mais eficientes no mercado;
- Substituição das lâmpadas de baixa eficiência por lâmpadas mais eficientes.

Assim, inicialmente foi necessário seleccionar e caracterizar os equipamentos e intervenções que serão alvo desta análise (ver anexo I). Para o caso das alternativas destinadas à climatização e preparação de AQS, numa primeira fase, foram analisadas as medidas de melhoria propostas pelos

peritos nos certificados energéticos. Para este efeito, foi estabelecido um contacto com a ADENE com vista à consulta da base de dados do SCE.

Posteriormente, os valores de investimento destas medidas foram obtidos através do *software cype* (disponível em <http://www.geradordeprecos.info>), neste já estão incluídos o custo da instalação e da mão de obra. A eficiência dos equipamentos foi obtida através do *cype* ou, quando não foi possível, através de valores harmonizados na literatura (Anexo II). O tempo de vida dos equipamentos também foi obtido a partir de valores harmonizados na literatura.

Nas medidas que visam a substituição dos equipamentos convencionais por equipamentos de elevada eficiência, o consumo de energia final foi calculado multiplicando as necessidades de energia calculadas anteriormente pela eficiência destes equipamentos. Para as intervenções construtivas, os potenciais de poupança considerados foram obtidos do estudo EcoFamílias II.

Ainda referente aos sistemas de preparação de AQS, foi necessário estimar a contribuição dos sistemas solares térmicos. Para o cálculo do valor da contribuição destes sistemas adotou-se a expressão do Despacho n.º 15793-E/2013 (3):

$$(3) E_{\text{solar}} = 0,44 \times A_c \times G_h$$

Em que:

E_{solar} – Valor da contribuição anual de sistemas de coletores solares para AQS (kWh)

A_c – Área total de captação dos coletores (m²)

G_h – Total anual médio da radiação solar global recebida numa superfície horizontal (kWh/m²)

Considerou-se o valor de radiação solar global na horizontal da Grande Lisboa (1 725 kWh/m²) e uma área útil de dois m² para o coletor solar.

Nos grandes eletrodomésticos a análise baseou-se na comparação entre as diferentes classes energéticas. Para os consumo dos equipamentos atuais considerou-se os valores apontados pelo estudo REMODECE (Almeida & Fonseca, 2008). Enquanto os valores de consumos e de investimento dos equipamentos de classe eficiente foram obtidos através dos dados divulgados pelo TopTen (2015, 2017) e, no caso de alguns equipamentos, consultando o site dos retalhistas. Tal como anteriormente, o tempo de vida útil dos equipamentos foi obtido a partir de valores harmonizados.

Na categoria da iluminação foram comparadas as diferentes tecnologias de iluminação. Foi adotada a mesma metodologia de cálculo do PPEC, que estabelece uma relação entre as potências das lâmpadas. O preço de cada lâmpada foi obtido através de uma consulta aos sites dos retalhistas.

Posteriormente foi calculado o potencial de poupança energético, económico e de redução de emissões para cada medida face à situação de referência. Na tabela 3.2 estão presentes os valores considerados no presente estudo.

Tabela 3.2 – Preços, fatores de conversão entre energia final e primária e fatores de emissão por fonte de energia

Fontes de energia	Preço ¹ (€/kWh)	Fatores de conversão entre energia final e primária ² (kWh _{EP} /kWh)	Fatores de emissão ² (kgCO ₂ e/kWh)
Eletricidade	0,23	2,5	0,144
Gás natural	0,10	1,0	0,202
Biomassa	0,04	1.0	0,000
Notas:	1 – Eletricidade e gás natural – (Eurostat, 2016a); Biomassa (pellets) – (Rabaçal, 2010) 2 – Eletricidade, gás natural e biomassa – Decreto-Lei n° 118/2013		

Rentabilidade das medidas

De seguida, para a análise económica das medidas calculou-se o valor atual líquido (VAL) e o período de retorno do investimento descontado (PRI descontado). Uma vez que se pretende comparar fluxos de capital ao longo de um horizonte, foi estipulada uma taxa de desconto de 5%. Para termos de comparação, este também é a taxa fixada pela ERSE para o cálculo dos indicadores económicos do PPEC.

O VAL (4) é o indicador que relaciona as receitas (poupanças nas faturas) com as despesas (preço dos equipamentos/intervenções e custo de instalação e mão de obra). O tempo de vida do investimento considerou-se igual ao tempo de vida do equipamento, contudo, este também podia referir-se à data de lançamento no mercado de um novo equipamento mais eficiente.

$$(4) \text{ VAL} = - \text{Inv} + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Em que:

CF_t – *Cash-flow* no ano t (€)

n – Tempo de vida do investimento (anos)

i – Taxa de desconto em valores decimais

Genericamente, considera-se que o investimento é viável quando O VAL é positivo. Um VAL positivo significa que a medida gera fundos suficientes para amortizar integralmente o valor do investimento, e ainda gerar um excedente igual ao valor do VAL. No caso de haver duas ou mais medidas com VAL positivo, o investidor tendencialmente escolherá o que apresentar maior VAL.

Quando o VAL do projeto é nulo, a medida gera um benefício líquido igual ao valor do investimento. Nesta situação é importante que o investidor consiga valorizar os restantes benefícios da implementação da medida. Caso o VAL seja negativo, a medida representará um prejuízo para o investidor.

O período de retorno do investimento (PRI) corresponde ao tempo necessário para que as poupanças geradas pela implementação da medida paguem os custos de investimento. Uma vez que este estudo aplica aos valores das poupanças atuais uma taxa de desconto, o indicador apresentado será o PRI descontado. Para efeitos de cálculo, o PRI descontado (5) é igual ao ano em que o VAL é nulo.

$$(5) \sum_{t=1}^{PRI} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \geq Inv$$

Em que:

CF_t – *Cash-flow* no ano t (€)

PRI – Período de retorno do investimento (anos)

i – Taxa de desconto em valores decimais

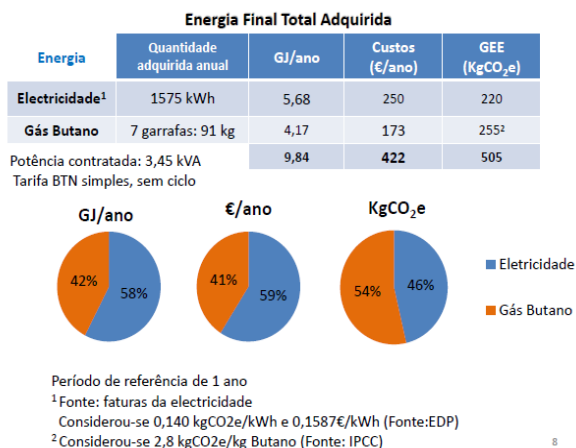
3.3 Análise das auditorias energéticas da FCT-UNL

As auditorias em estudo foram realizadas por estudantes finalistas de cursos de engenharia às suas habitações. Estas tinham como objetivo a otimização dos consumos de energia na habitação, sem perda de conforto e com uma rendibilidade razoável. O total da amostra é composta por um conjunto de 374 auditorias, realizadas entre dezembro de 2006 e maio de 2016.

Numa fase inicial, foi pedido aos auditores uma caracterização da residência (localização, ano de construção, tipologia, orientação, dimensões e materiais de construção) e dos hábitos de consumo do agregado. Também foi pedido que determinassem a classe de eficiência energética da habitação segundo a metodologia do REH (as auditorias anteriores a 2013 recorriam à metodologia do RCCTE) e, para completar a caracterização, que referissem o consumo desagregado por fontes de energia, com respetivas emissões e custos associados, por categoria e por equipamento, para o período de um ano.

Na fase seguinte, os estudantes tinham liberdade para procurar soluções que permitissem responder ao objetivo inicial do trabalho - otimizar o consumo energético na habitação. A informação para realizar esta tarefa podia ser consultada online, em sites e guias especializados, ou através do contacto com direto com as empresas. Deste modo, estão sujeitos a um processo idêntico ao que um consumidor atravessa antes de decidir investir em eficiência energética.

As escolhas das medidas devem incidir sobre os aspetos mais negativos encontrados na primeira fase da auditoria (*e. g.* consumos, desempenho da habitação), ou simplesmente em oportunidades de melhoria identificadas por estes. Por fim, as medidas de melhoria eram quantificadas segundo o investimento, potenciais de poupança (energético, económico e de redução de emissões), período de retorno e pelas alterações no conforto. Na figura 3.3 estão representadas diferentes tarefas alusivas às duas fases da auditoria energética.



Potencial de poupança III

Tabela 6. Potencial de poupança para as vertentes de Edifício e Envolvente e Mix Energético.

Medida	Potencial de poupança						Investim.	Manutç.	Vida útil	Tempo de retorno
	Energia		GEE		Custo					
	GJ/ano	%	Kg CO ₂ /ano	%	€/ano	%				
Isolamento da janela ⁽¹⁾	0,28	1,0	25	2,4	15,16	1,4	N.A.	N.A.	N.A.	Imediato
Isolamento da arrecadação ⁽¹⁾	0,07	0,2	6	0,6	3,77	0,4	15	N.A.	N.A.	4,0
Gás butano para natural ⁽²⁾	0,00	0,0	-88	-8,2	74,69	6,9	0	N.A.	N.A.	Imediato
Painel fotovoltaico (CCBS) ⁽³⁾	3,94	14,0	358	33,3	213,89	19,9	5 500	N.S.	20-25	26
Painel fotovoltaico (Simulaç. EDP) ⁽³⁾	2,86	10,2	167	15,5	155,17	14,4	1 320	N.S.	20-25	8,5
Painel térmico ⁽⁴⁾	3,73	13,3	50	4,7	81,95	7,6	1 750	50	20-25	35

(1) Reflectividade do alumínio assumida de 0,85. O potencial de poupança foi estimado a partir da simulação no REH e dos valores Nic e Nvc.

(2) Poderes caloríficos líquidos de 40,52 MJ/m³ e 45,73 MJ/kg de gás natural e butano, respectivamente.

(3) Painel CCBS com produção estimada de 3 kW/dia. Assumido um custo de instalação de 2 800€. Valores do painel EDP simulados pela própria EDP.

(4) Valores para um coletor de termosifão de 200 L. Assumida uma redução de 70% das necessidades para ACS. Valores de manutenção obtidos pelo testemunho de proprietários.

Restantes factores de referência: 0,1952 €/kWh (Galp), 0,89€/m³ gás natural (Galp), 0,327 CO₂/kWh (Galp) e 1,878 CO₂/m³ gás natural (Galp)

Figura 3.2 – Exemplos das tarefas realizadas na auditoria, caracterização energética (à esquerda) e análise das medidas (à direita)

A partir das auditorias foi criada uma base de dados onde foram sendo registados as informações de maior relevo para a dissertação. A análise das variáveis extraídas da base de dados tem como objetivo a identificação dos critérios socioculturais e económico-financeiros que afetam os investimentos em eficiência energética. Após esta primeira análise, os principais resultados foram comparados com outros estudos para o setor dos edifícios. Esta comparação tem como objetivo perceber a validade da informação recolhida, mas também o de ter uma análise mais robusta do tema.

4. Resultados e discussão

4.1 Potencial de poupança económico

Neste capítulo é apresentado o potencial de redução do consumo de energia, das emissões e económico, bem como a rentabilidade das medidas de eficiência energética apresentadas no capítulo anterior. Como mencionado anteriormente, os equipamentos ou intervenções são equacionados para um cenário médio nacional, denominado de cenário de referência (moradia unifamiliar; 110 m² de área útil; agregado familiar de quatro pessoas).

Sistemas de aquecimento

Nas tabelas seguintes encontram-se representados os resultados desta análise. Neste primeiro caso, o equipamento usado como referência foram os aquecedores elétricos independentes. Para a habitação de referência, o consumo de energia primária para climatização é de 4 125 kWh/ano, as emissões correspondem a 594 kgCO₂e/ano e representa um custo anual de 380 euros.

Tabela 4.1 – Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para climatização (1º exemplo)

Equipamento(s) / intervenções	Fonte de energia	Energia primária	Variação no consumo de energia primária		Variação de emissões de GEE		Variação na fatura de energia	
		(kWh/ano)	(kWh/ano)	%	(kgCO ₂ e/ano)	%	(€/ano)	%
Isolamento térmico das fachadas e cobertura	n. a.	2 681	- 1 444	- 35	- 208	- 35	- 120	- 35
Instalação de vidros duplos	n. a.	3 630	- 495	- 12	- 71	- 12	- 41	- 12
Ar-condicionado (COP = 3,2)	Elettricidade	1 290	- 2 835	- 69	- 408	- 69	- 261	- 69
Caldeira mural de condensação (η = 94 %)	Gás natural	1 750	- 2 375	- 158	- 241	- 41	- 204	- 54
Salamandra a pellets (η = 88 %)	Biomassa	1 875	- 2 250	- 55	- 594	- 100	- 305	- 80

Pela análise da tabela anterior é possível verificar o potencial de cada medida proposta na redução do consumo de energia primária, emissões de GEE equivalentes e na fatura de energia do consumidor. De forma geral, todas as medidas cumprem com o objetivo de redução do consumo de energia primária; no caso do isolamento e dos vidros duplos reduzindo as necessidades de recorrer aos sistemas mecânicos; no caso dos equipamentos devido a uma maior eficiência dos mesmos.

Na substituição dos equipamentos foram estudados equipamentos que utilizam diferentes combustíveis. O equipamento elétrico (ar-condicionado) é o que apresenta maior impacto na redução do consumo de energia, enquanto o equipamento a biomassa (salamandra) apresenta melhor potencial de redução das emissões e de custos operacionais. Na tabela 4.2 foi realizada a análise a estas medidas numa perspetiva económica.

Tabela 4.2 – Valores de investimento, VAL e PRI por medida para climatização (1º exemplo)

Equipamento(s) / intervenções	Investimento (€)	VAL_{5%} (€)	PRI atualizado (anos)
Isolamento térmico das fachadas e cobertura	4 700	- 2 755	∞
Instalação de vidros duplos	2 412	- 1 745	∞
Ar-condicionado (COP = 3,2)	1 418	1 290	7
Caldeira mural de condensação (η = 94 %)	2 795	- 253	∞
Salamandra a pellets (η = 88 %)	3 378	20	20

Os valores obtidos na análise económica efetuada são mais pessimistas que os encontrados na literatura para opções semelhantes. Uma das possíveis razões para os resultados serem negativos deve-se ao facto de terem sido usados valores médios nacionais, que geralmente são inferiores aos registados numa habitação de quatro pessoas. No entanto, se a amostra estivesse segmentada, haveria habitações (as que registam maiores consumos) que registariam valores mais otimistas.

Esta análise também assume que o equipamento atual já se encontra amortizado (também não apresenta qualquer valor comercial), o que acaba por influenciar os resultados negativamente. Assim, apesar de as alternativas serem favoráveis em termos ambientais e a longo prazo, as condições de mercado atuais não fazem destas medidas interessante para grande parte das famílias no curto prazo.

Não esquecendo estes reparos, os resultados demonstram que a substituição dos sistemas de aquecimento são opções mais rentáveis no curto prazo que a melhoria do isolamento e dos envidraçados. Neste cenário, a instalação do ar-condicionado é a medida que apresenta melhor rentabilidade, que se justifica pela elevada eficiência destes equipamentos e do custo inferior desta alternativa face às restantes. Todavia, esta opção pode ter um efeito perverso e resultar no aumento do consumo de energia.

Em relação às intervenções construtivas, embora sejam pouco interessantes do ponto de vista económico, os ganhos de conforto podem ser suficientes para justificar este investimento. Importa referir que neste estudo foi assumido que a introdução de isolamento e substituição dos envidraçados apresentam uma poupança potencial dos consumos com climatização de 35% e 13% respetivamente, valores que podem ser um pouco conservadores.

Embora a caldeira mural de condensação apresente um VAL negativo, esta tem a vantagem de poder combinar os sistemas de aquecimento e produção de AQS no mesmo equipamento. A combinação destes sistemas, com um investimento extra reduzido, é uma forma de obter poupanças superiores e, por conseguinte, retornos de investimento menores. A mesma associação pode ser feita para o ar-condicionado em habitações que possuam algum equipamento de arrefecimento do ambiente. Nesta análise não foi considerado o estudo destes sistemas devido à maioria dos alojamentos não possuírem equipamentos de arrefecimento.

De seguida é apresentado nas tabelas seguintes os resultados do mesmo estudo considerando agora a lareira aberta como equipamento convencional. Optou-se por comparar apenas com a introdução de um recuperador de calor na lareira, uma vez que esta opção apresenta custos muito inferiores às restantes. Neste cenário, a energia primária consumida na habitação é 10 000 kWh/ano, as emissões são nulas e representa um custo de 440 euros.

Tabela 4.3 - Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para climatização (2º exemplo)

Equipamento(s)	Fonte de energia	Energia primária	Variação no consumo de energia		Variação de emissões de GEE		Variação na fatura de energia	
		(kWh/ano)	(kWh/ano)	%	(kgCO ₂ e/ano)	%	(€/ano)	%
Lareira com recuperador de Calor ($\eta = 75\%$)	Biomassa	2 200	- 8 800	- 80	0	0	- 352	- 80

Dado que os sistemas de lareira aberta apresentam baixos rendimentos (10-15 %), a introdução de um recuperador de calor, que consegue atingir eficiências muito mais elevadas, apresenta-se como uma solução com um elevado potencial de poupança de energia e económico. Uma vez que se considera o fator de emissão para a biomassa pura como sendo nulo, este potencial não se reflete na redução das emissões de GEE (APA, 2009). Contudo, há outros poluentes que são reduzidos, nomeadamente os óxidos de azoto, as partículas e alguns compostos orgânicos voláteis. Na tabela 4.4 está a análise económica para este cenário.

Tabela 4.4 - Valores de investimento, VAL e PRI por medida para climatização (2º exemplo)

Equipamento(s)	Investimento (€)	VAL _{5%} (€)	PRI atualizado (anos)
Lareira com recuperador de Calor ($\eta = 75\%$)	978	2 990	3

A análise económica revela que a introdução destes equipamentos nestas condições apresenta-se como boas oportunidades de investimento.

Outra vantagem associada a estes equipamentos é a possibilidade de incorporar tubagens para transportar o calor para outras divisões do edifício. Em termos de segurança, a maioria dos recuperadores de calor consegue funcionar através do ar novo proveniente das portas e janelas do edifício, mas há casos em que a quantidade de entrada do ar se revela insuficiente, sendo assim necessário construir uma grelha de ventilação numa parede exterior próxima do recuperador de calor, o que pode aumentar os custos destes sistemas (Freitas, 2014).

Sistema de preparação de AQS

Nas tabelas 4.5 e 4.6 está representado os resultados obtidos com a introdução dos diferentes equipamentos para preparação de AQS. Desta feita, o equipamento do cenário de referência é um esquentador com uma eficiência de 68 %. O consumo de energia primária para preparação de AQS é 3 544 kWh/ano, as emissões são 716 kgCO₂e/ano e o custo é de 354 euros.

Tabela 4.5 - Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para preparação de AQS (1º exemplo)

Equipamento(s)	Fonte de energia	Energia primária	Variação no consumo de energia		Variação de emissões de GEE		Variação na fatura de energia	
		(kWh/ano)	(kWh/ano)	%	(kgCO ₂ e/ano)	%	(€/ano)	%
Esquentador ($\eta = 82 \%$)	Gás natural	2 848	- 696	- 20	- 141	- 20	- 70	- 20
Sistema solar térmico + esquentador	Gás natural (auxiliar)	1 330	- 2 214	- 63	- 447	- 63	- 221	- 63
Bomba de calor (COP = 4,3)	Eletricidade	1 390	- 2 154	- 61	- 516	- 72	- 226	- 64
Caldeira de Condensação ($\eta = 85 \%$)	Gás natural	2 034	- 1 510	- 43	- 305	- 43	- 73	- 20

Os resultados da tabela anterior apontam a implementação do sistema solar térmico com substituição do esquentador e a implementação de uma bomba de calor como as alternativas com maior impacto na redução do consumo de energia e emissões. No primeiro caso, a instalação do sistema solar térmico permite que o esquentador funcione como sistema auxiliar. No segundo caso, a poupança potencial das bombas de calor devem-se apresentar uma COP (*Coefficient of Performance*) de 4,3, o que significa que por cada unidade de eletricidade consumida, o equipamento produz 4,3 unidades de energia sob a forma de calor. Na tabela 4.6 é apresentada a rentabilidade destas medidas.

Tabela 4.6 - Valores de investimento, VAL e PRI por medida para preparação de AQS (1º exemplo)

Equipamento(s)	Investimento (€)	VAL _{5%} (€)	PRI atualizado (anos)
Esquentador ($\eta = 82\%$)	360	363	6
Sistema solar térmico + esquentador	1 931	828	12
Bomba de calor (COP = 4,3)	2 925	- 575	∞
Caldeira de Condensação ($\eta = 85\%$)	2 034	- 1 125	∞

Tal como no caso anterior, os resultados são superiores aos encontrados na literatura. As razões para estes resultados negativos são idênticas às identificadas para os sistemas de aquecimento. Também importa referir que os resultados obtidos estão condicionados pelo cenário de referência, nomeadamente pela eficiência do equipamento convencional, que na realidade pode ser superior.

Em todo o caso, a instalação de um sistema solar térmico combinado com a instalação de um esquentador apresenta-se como a solução mais custo-eficaz. Contudo, o período de retorno desta alternativa é superior ao verificado na substituição do esquentador.

Para a alternativa bomba de calor, o preço elevado destes equipamentos combinado com o preço mais elevado da eletricidade face ao gás torna este investimento pouco interessante economicamente. Esta opção, assim como a opção pela caldeira de condensação, podem constituir opções interessantes para o setor dos serviços e para famílias com consumos elevados.

De seguida é apresentado o mesmo estudo considerando agora o termoacumulador no cenário de referência. Optou-se por realizar esta análise com o termoacumulador na medida em que há edifícios que não têm rede interna para gás natural. Deste modo, o estudo foi realizado assumindo que não há substituição de fontes. O consumo de energia primária para preparação de AQS neste exemplo é 6 645 kWh/ano, as emissões são 957 kgCO₂e/ano e o custo é de 611 euros.

Tabela 4.7 - Valores do consumo de energia primária e respetivos potenciais de poupança por medida para preparação de AQS (2º exemplo)

Equipamento(s)	Fonte de energia	Energia primária	Variação no consumo de energia			Variação de emissões de GEE		Variação na fatura de energia	
		(kWh/ano)	(kWh/ano)	%		(kgCO ₂ e/ano)	%	(€/ano)	%
Bomba de calor (COP = 4,3)	Eletricidade	1 390	- 5 255	- 79		- 757	- 79	- 483	- 79

Sistema solar térmico	Eletricidade (auxiliar)	2 850	- 3 795	- 57	- 547	- 57	- 349	- 57
-----------------------	----------------------------	-------	---------	------	-------	------	-------	------

Para este caso, uma vez que é considerado a energia elétrica como fonte de energia para preparação de AQS, as soluções propostas acabam por ter um impacto bastante significativo na redução do consumo de energia, emissões e despesa com energia.

Tabela 4.8 - Valores de investimento, VAL e PRI por medida para preparação de AQS (2º exemplo)

Equipamento(s)	Investimento (€)	VAL _{5%} (€)	PRI atualizado (anos)
Bomba de calor (COP = 4,3)	2 925	2 092	7
Sistema solar térmico	1 571	2 649	5

Na tabela 4.8 é possível verificar que neste cenário os excedentes gerados são superiores, assim como o período de retorno é inferior. Contudo, é preciso ter em consideração que tendencialmente os utilizadores de termoacumuladores apresentam um perfil de consumo reduzido (INE/DGEG, 2011), o que pode não justificar o investimento.

Grandes eletrodomésticos

Na tabela 4.9 e 4.10 apresentam-se os resultados obtidos para os equipamentos de frio e máquinas de lavar e secar. A análise foi realizada para as classes energéticas mais eficiente de cada equipamento.

Tabela 4.9 - Valores de energia útil, energia final e potenciais de poupança por classe energética de cada equipamento

Equipamento(s)	Classe energética	Consumo energético (kWh/ano)	Variação no consumo de energia (kWh/ano)	Variação de emissões de GEE (kgCO ₂ e/ano)	Variação na fatura de energia (€/ano)
Frigorífico	A+++	147	- 304	- 112	- 70
	A++	196	- 255	- 94	- 59
	A+	247	- 204	- 75	- 47
Arca congeladora	A+++	164	- 368	- 136	- 84
	A++	238	- 305	- 113	- 70
	A+	329	- 214	- 79	- 49

Máquina de lavar roupa	A+++	171	- 71	- 26	- 16
	A++	193	- 49	- 19	- 11
Máquina de lavar loiça	A+++	131	- 103	- 38	- 24
	A++	142	- 92	- 34	- 21
Máquina de secar a roupa	A+++	174	- 173	- 64	- 40
	A++	238	- 109	- 40	- 25
	A+	290	- 57	- 21	- 13

No que concerne os equipamentos elétricos domésticos, a reformulação de 2010 da Diretiva comunitária relativa à rotulagem energética (Diretiva 2010/30/EU) veio introduzir as classes A+ a A+++ à escala de rotulagem. Contudo, o aparecimento destas novas classes também veio desregular o mercado destes equipamentos (CE, 2015b).

Pela análise da tabela anterior torna-se evidente que os equipamentos das classes mais eficientes representam ganhos de eficiência consideráveis (nos equipamentos do frio a classe mais eficiente apresenta uma poupança superior a 50 %). Na tabela 4.10 está representada a análise económica a estas classes.

Tabela 4.10 – Valores de investimento, VAL e PRI por classe energética de cada equipamento

Equipamento(s)	Classe energética	Investimento (€)	VAL _{5%} (€)	PRI atualizado (anos)
Frigorífico	A+++	747	- 21	∞
	A++	559	50	13
	A+	375	112	10
Arca congeladora	A+++	950	- 71	∞
	A++	550	178	10
	A+	421	90	11
Máquina de lavar roupa	A+++	402	- 257	∞
	A++	338	- 238	∞
Máquina de lavar loiça	A+++	618	- 408	∞
	A++	383	- 196	∞

Máquina de secar a roupa	A+++	1 087	- 734	∞
	A++	710	- 488	∞
	A+	583	- 466	∞

Da análise da tabela anterior é possível verificar que a compra da classe do equipamento mais eficiente do mercado não se traduz na escolha mais custo-eficaz. No frigorífico e máquina de secar a roupa é mais vantajoso adquirir o modelo A+. Ao passo que na arca congeladora e máquinas de lavar a roupa e loiça compensa investir no modelo de classe A++. As mesmas conclusões foram obtidas por Grilo (2012).

No que se refere a oportunidades de investimento no imediato, apenas compensa investir no frigorífico e a arca congeladora das classes A+ e A++. Os outros equipamentos por apresentarem consumos reduzidos não são investimentos viáveis.

Iluminação

Nas tabelas seguintes está representado o mesmo estudo, desta feita, relacionando diferentes tecnologias de iluminação. Neste caso, as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas de halogénio e as lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares foram assumidas como as tecnologias convencionais. As poupanças foram calculadas assumindo-se a substituição de seis lâmpadas convencionais e duas tubulares.

Tabela 4.11 - Valores de energia útil, energia final e potenciais de poupança para iluminação

Tipo de tecnologia	Tecnologia de referência a substituir	Consumo energético (kWh/ano)	Variação no consumo de energia (kWh/ano)	Variação de emissões de GEE (kgCO ₂ e/ano)	Variação na fatura de energia (€/ano)
LED baixa pressão ¹	Incandescente	53	- 298	- 110	- 69
	Halogénio		- 210	- 78	- 48
	Fluorescentes compactas		- 18	- 7	- 4
LED tubulares ²	Fluorescentes T8	55	- 62	- 23	- 14

Notas: 1. Assumindo 3h/dia
2. Assumindo 5h/dia

Pela análise da tabela anterior verifica-se que o maior potencial de poupança está na substituição das lâmpadas incandescentes e de halogénio, que já se encontram descontinuadas e têm custos totais cinco a seis vezes superiores às das lâmpadas LED. A substituição das lâmpadas

incandescentes por LED justifica-se pelo maior tempo de vida destas últimas. Na tabela 4.12 está representada a análise económica a estas medidas.

Tabela 4.12 - Valores de investimento, VAL e PRI para iluminação

Tipo de tecnologia	Tecnologia de referência a substituir	Invest. (€/lâmpada)	VAL _{5%} (€)	PRI atualizado (anos)
LED baixa pressão ²	Incandescente	6	694	≈ 0
	Halógeno		476	≈ 0
	Fluorescentes compactas		8	12
LED tubulares ³	Fluorescentes T8	17	143	3

Notas: 1. Assumindo 3h/dia
2. Assumindo 5h/dia

Da análise da tabela conclui-se que todos os cenários constituem oportunidades de investimento no imediato. A substituição das lâmpadas incandescentes e de halógeno apresenta períodos de retorno inferiores a um ano, ao passo que a substituição das fluorescentes compactas permite recuperar um investimento em 12 anos.

4.2 Motivações, barreiras e oportunidades da eficiência energética

Inicialmente, de forma a compreender as motivações, barreiras e oportunidades com maior impacto nos investimentos em eficiência energética, foi caracterizada a amostra segundo a área de estudos (figura 4.1).

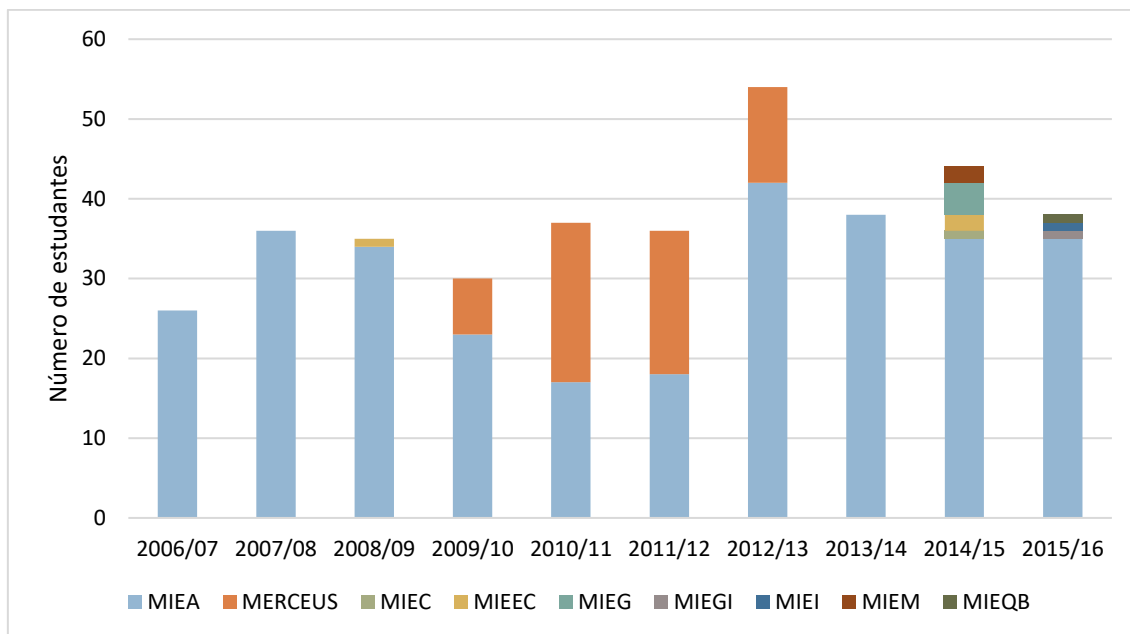


Figura 4.1 - Distribuição da amostra segundo a área de formação

Olhando para o gráfico da figura verifica-se a preponderância de estudantes dos cursos do mestrado integrado em engenharia do ambiente (81 %) e do mestrado em energias renováveis, conversão elétrica e utilização sustentável (15 %). Esta informação pode ser reveladora de que a nossa amostra pode estar mais sensibilizada para os impactos que o consumo intensivo de energia tem no planeta e, por conseguinte, estar mais receptiva a investir em eficiência energética.

Importa referir que as auditorias em estudo foram realizadas ao longo de 10 anos, o que antecipa diferenças significativas nas medidas propostas, políticas, e até no tipo de barreiras aos investimentos.

Na figura 4.2 podemos observar as principais motivações, identificadas nas auditorias, para investir em medidas de eficiência energética.

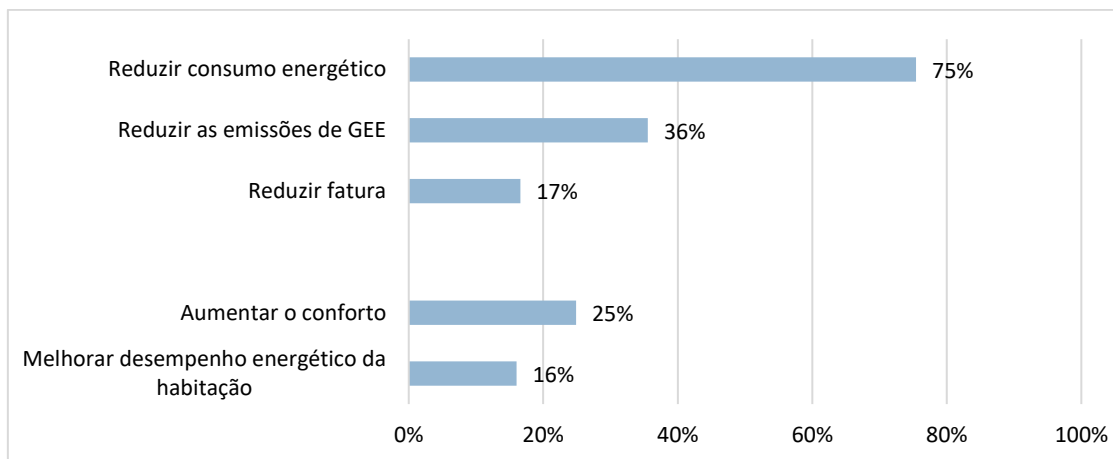


Figura 4.2 - Motivações para investir em medidas de eficiência energética.

A principal motivação para investir em medidas de eficiência energética é a redução do consumo energético (75 %), seguida da redução das emissões de GEE (36 %) e do aumento do conforto (25 %). Curiosamente, apenas uma parte da amostra (17 %) indicou a redução das despesas com energia como uma motivação para investir em eficiência energética. No entanto, considera-se que essa é a motivação mais relevante para todos os consumidores e não pode ser dissociada da motivação de reduzir o consumo energético.

Comparativamente, no questionário energyprofiler (2011) realizado ao setor residencial, os inquiridos quando questionados sobre a razão que consideram mais importante para poupar energia, 86,7 % indicaram razões de ordem económica, o que sustenta a afirmação feita anteriormente. Também a ADENE, numa entrevista realizada por Mugdal et al. (2013), afirma que os consumidores portugueses são muito orientados pelo custo, preferindo investir em tecnologias com custo inferior face a tecnologias com menor impacto para o ambiente.

Relativamente às restantes motivações, a melhoria do conforto é um fator importante para um quarto dos auditores, enquanto a melhoria da classe de eficiência energética é vista como uma forma de melhorar as condições de conforto da habitação, mas também como forma de valorizar o imóvel. Com menos frequência foram também referidas motivações relacionadas com o aumento dos preços da energia e da diminuição da dependência das fontes de energia fóssil.

Para o setor do comércio e serviços, esta questão foi abordada por Graça (2011) e por Sequeira (2016). Os resultados do primeiro indicam que os aspetos mais importantes são a redução da fatura energética, o cumprimento legal das obrigações (certificação energética do edifício) e o envolvimento dos colaboradores em boas práticas de gestão de energia. Analogamente, os resultados obtidos pelo segundo apontam a redução dos custos operacionais como a principal motivação para a reduzir o consumo de energia. No mesmo estudo, o autor também indica que os estabelecimentos priorizam o conforto e a capacidade de atrair clientes ao invés do uso eficiente dos recursos.

As medidas identificadas pelos “auditores” foram divididas em 8 tipologias, designadamente os comportamentos, iluminação, equipamentos elétricos, climatização, AQS, intervenções construtivas, sistemas de gestão e microgeração. Na tabela 4.1 é apresentada uma descrição das principais medidas identificadas para cada uma das tipologias.

Tabela 4.13 – Resumo de medidas de eficiência energética identificadas nas auditorias

Área	Caracterização das principais medidas identificadas
Comportamentos	<p>Conjunto de medidas que visam a redução do consumo de energia através de uma alteração dos hábitos de consumo. São medidas que requerem pouco ou nenhum investimento e que não requerem a aplicação de nenhuma tecnologia. Alguns exemplos das medidas propostas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reduzir o tempo de duração das atividades diárias (<i>e. g.</i> duche) - Regular as temperaturas dos sistemas AVAC, frigoríficos, termoacumuladores consoante as suas necessidades; - Aplicar soluções artesanais para reduzir as perdas térmicas (folhas de alumínio, fitas de calafetagem); - Adotar estratégias de climatização passiva; - Consultar a etiqueta energética antes de comprar um equipamento.
Iluminação	<p>Substituição das lâmpadas de maior potência e menos eficientes (<i>e. g.</i> incandescentes, halogéneo) por lâmpadas mais eficientes (<i>e. g.</i> lâmpadas LEDs, fluorescentes).</p>
Equipamentos	<p>Substituição dos eletrodomésticos menos eficientes (classe B a G) por outros novos, mais eficientes (classe A+ a A+++). Por ordem, os equipamentos mais identificados para substituição:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frigorífico; - Arca congeladora; - Máquina de lavar a loiça; - Máquina de lavar e secar a roupa; - Equipamentos audiovisuais;
Climatização	<p>Substituição dos equipamentos de climatização, sobretudo para aquecimento do ambiente. Por ordem, os equipamentos mais vezes identificados para instalação/substituição:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ar condicionado - Recuperadores de calor; - Aquecedores independentes (elétricos e gás); - Termoventiladores; - Acumuladores de calor estáticos; - Ventoinhas; <p>E para soluções combinadas (AQS + Climatização):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caldeiras murais a gás; - Sistemas solares térmicos combinados.

AQS	<p>Substituição do sistema de preparação de AQS ou instalação de um sistema auxiliar. Por ordem, os equipamentos mais vezes identificados para instalação/substituição:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema solar térmico; - Esquentadores; - Bomba de calor; - Caldeiras; - Termoacumuladores;
Intervenções construtivas	Aplicação de isolamento nas fachadas e coberturas, instalação de vidros duplos com caixilharia com corte térmico e a aplicação de proteções solares;
Sistemas de gestão	<p>Instalação de equipamentos e sistemas que permitem, do ponto de vista do utilizador, gerir o consumo de energia. São exemplos deste tipo de equipamentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispositivos de monitorização; - Tomadas inteligentes; - Sensores;
Microgeração	Instalação de sistema solar fotovoltaico ligado à rede de baixa tensão;

De seguida, na figura 4.3 está representado o número de medidas identificadas por tipologia e a taxa de sucesso. Em termos globais, foram identificadas 1 488 medidas técnicas (não inclui os comportamentos) nas 374 auditorias, uma média de 4 medidas por auditoria.

Importa referir que nas medidas comportamentais foi contabilizado o número de auditorias em que foram identificadas oportunidades de melhoria dos comportamentos, em vez do número efetivo de ações. Do mesmo modo, na área da iluminação foi contabilizado o número de auditorias em que foram identificadas medidas de substituição de lâmpadas. Estas são as medidas mais vezes propostas, presentes em 75 % das auditorias analisadas.

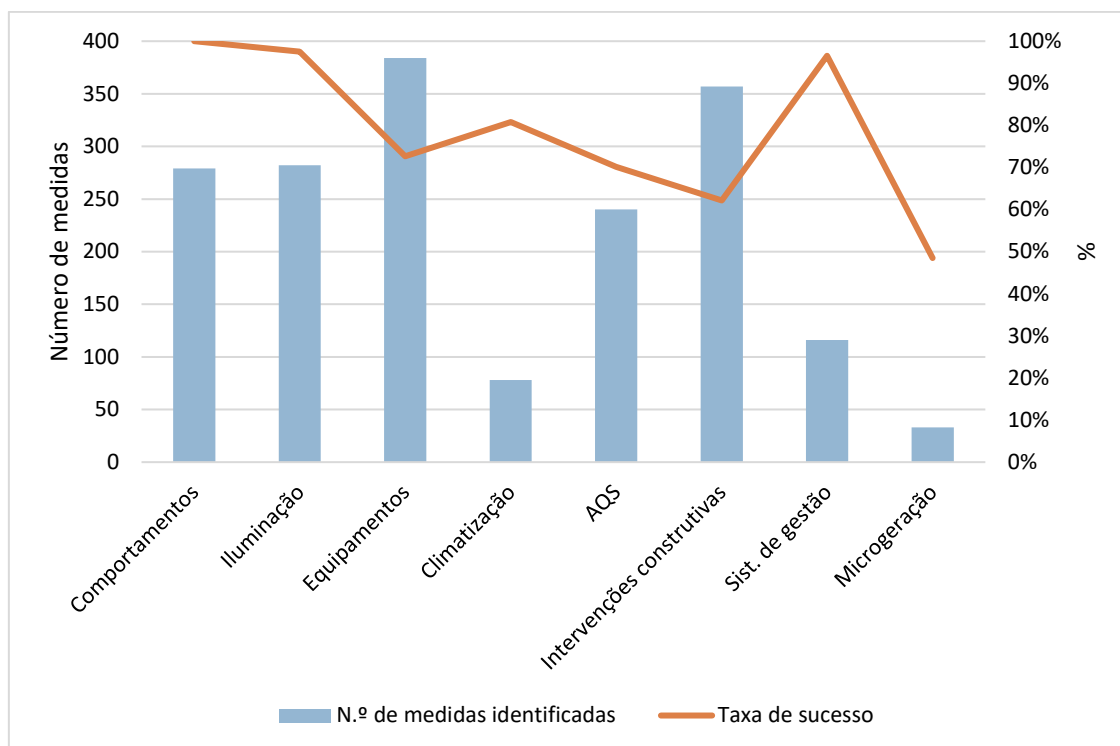


Figura 4.3 – Número de medidas identificadas e taxa de sucesso

As medidas de substituição dos equipamentos elétricos, particularmente os de cozinha, e as intervenções construtivas são as medidas com maior predominância. As primeiras pela facilidade de identificar os equipamentos menos eficientes e proceder à respetiva troca, e pelas economias geradas dessas trocas. As segundas pelas carências usuais na envolvente opaca: isolamentos fracos ou mesmo ausência de isolamento e existência de pontes térmicas; e nos vãos envidraçados: vidros simples, caixilharias metálicas sem recorte térmico e ausência de dispositivos de sombreamento.

Pelo contrário, as áreas com menos medidas propostas foram as da climatização, microgeração e dos sistemas de gestão. Para o caso da climatização julga-se que o facto de em Portugal os equipamentos para aquecimentos serem utilizados apenas nos três meses mais frios do ano pode justificar o número reduzido de medidas propostas.

No gráfico da figura anterior também podemos observar a taxa de sucesso referente à aplicação das medidas identificadas. Em geral, as medidas do segmento da microgeração (52 % das medidas não são implementadas) e as intervenções construtivas (38 % das medidas não são implementadas) são as que sofrem maior oposição nas auditorias.

Na figura 4.4 estão identificadas as principais barreiras à adoção das medidas de eficiência energética.

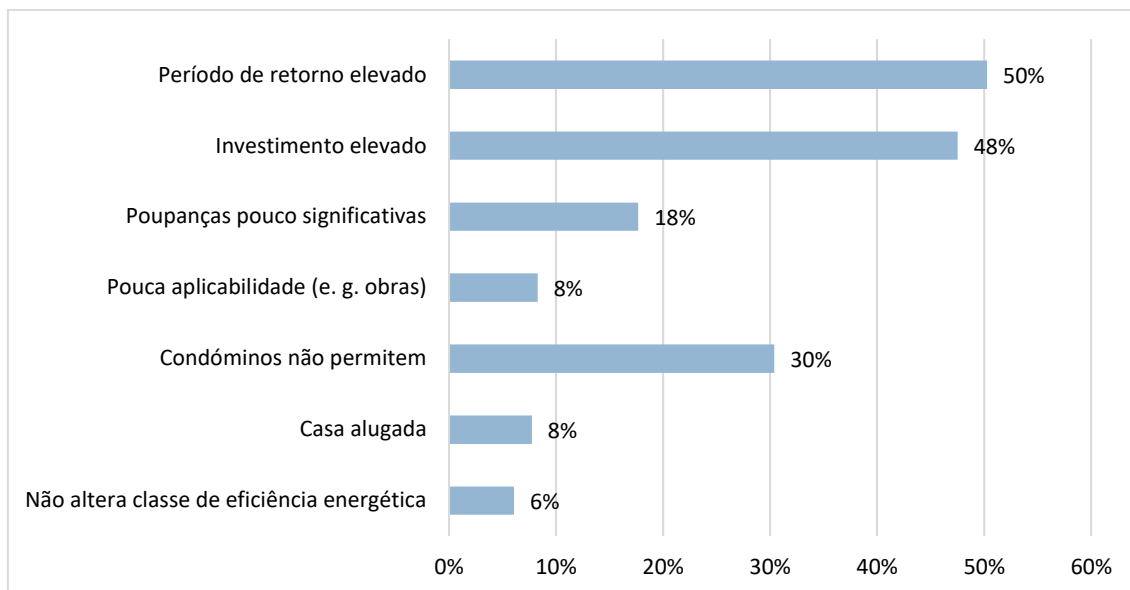


Figura 4.4 - Barreiras à adoção de medidas de eficiência energética

Como esperado, as barreiras de natureza económica são as que mais condicionam os investimentos em eficiência energética. Para tomar uma decisão em relação ao investimento, o período de retorno simples foi o critério mais vezes usados para comparar investimentos. Em Portugal, a maior parte dos proprietários de habitações mostra-se disponível para implementar medidas de eficiência energética, desde que o período de retorno seja garantidamente inferior a oito anos (Mudgal et al., 2013). Deste conjunto de barreiras, há alguns casos que devem ser analisados isoladamente:

→ Aquisição de equipamentos elétricos de classe energética A+++;

Tal como demonstram os resultados do subcapítulo anterior, a aquisição do equipamento mais eficiente do mercado pode obrigar o consumidor a ter de pagar quase o dobro do preço do equipamento homólogo da classe inferior. Por conseguinte, os consumidores são surpreendidos com períodos de retorno de investimento superiores ao que estão dispostos a aceitar.

→ Intervenções construtivas em habitações com reduzidos consumos em climatização;

Quando os alojamentos possuem consumos reduzidos com climatização, a introdução ou reforço do isolamento e a instalação de vidros duplos e caixilharia com recorte térmico são investimentos que representam um ganho de conforto para os ocupantes. Assim, se o critério de decisão for estritamente económico, estes investimentos são abandonados.

→ Aquisição e instalação de unidades de microgeração e de sistemas solares térmicos;

As barreiras à instalação de sistemas solares fotovoltaicos resultam do elevado investimento inicial, muitas vezes superior ao orçamento disponível das famílias. Este também é um problema

que afeta os sistemas solares térmicos, contudo, à medida que os preços vão se tornando mais competitivos prevê-se que estes equipamentos sejam mais vezes adotados.

Ainda relativo aos sistemas solares, também é frequente existirem barreiras relacionadas com a dificuldade em convencer os restantes condomínios, a casa ser arrendada, falta de espaço e o sombreamento da cobertura. Em geral, a pouca exposição solar é a única situação que não permite a instalação deste tipo de sistemas. Mesmo a falta de espaço pode ser contornada através da implementação dos painéis nas fachadas dos edifícios de forma custo-eficiente, tal como demonstrado por Brito e Freitas (2016).

As medidas que requerem o envolvimento de mais que um agente, como os restantes condomínios ou até o proprietário da habitação (no caso de a habitação ser arrendada), são as que maiores objeções motivam. Entre as razões invocadas estão: a pouca disponibilidade para investir dos restantes agentes; más experiências anteriores; a incapacidade para convencer todos os restantes agentes.

No entanto, em algumas auditorias foram identificadas formas de superar estas barreiras. No caso dos condomínios através da implementação de soluções conjuntas (*e. g.* sistema solar térmico com captação coletiva de energia). Enquanto no caso dos arrendamentos, ora através da amortização do valor do investimento na renda ficando o investimento a cargo do inquilino, ora através da reactualização do valor da renda ficando neste caso o investimento a cargo do proprietário. Este tipo de solução, incluir os custos dos investimentos na renda, também foi proposta por Charlier (2015) para o setor residencial francês.

A problemática dos investimentos em espaços arrendados é ainda mais preponderante para o setor do comércio e serviços e, particularmente, nos pequenos estabelecimentos, tal como demonstrado por Sequeira (2016). Nas auditorias realizadas por este, 77 % das entidades auditadas exerciam as suas atividades em espaços arrendados. Adicionalmente, no mesmo estudo, a maioria das entidades auditadas mostraram-se adversas a qualquer intervenção na vertente construtiva, assim como a medidas que possam perturbar o normal funcionamento do estabelecimento.

Paralelamente às barreiras, surgiram oportunidades que tiveram um impacto positivo na tomada de decisão, nomeadamente a existência de incentivos fiscais, os equipamentos atuais estarem em fim de vida e, menos vezes apontadas, a subida dos preços da energia e a valorização do imóvel. A possibilidade de aceder ao crédito bancário para realizar os investimentos é uma opção pouco explorada nas auditorias, tendo sido apenas identificado um caso que usufruiu de condições especiais de crédito para investimentos em energias renováveis.

Relativamente aos incentivos, estes permitiram que certas medidas que não seriam implementadas devido ao seu investimento inicial, fossem implementadas. Por outro lado, a perda dos incentivos foi vista como um fator negativo. Na figura 4.7 podemos observar a distribuição dos incentivos por medida.

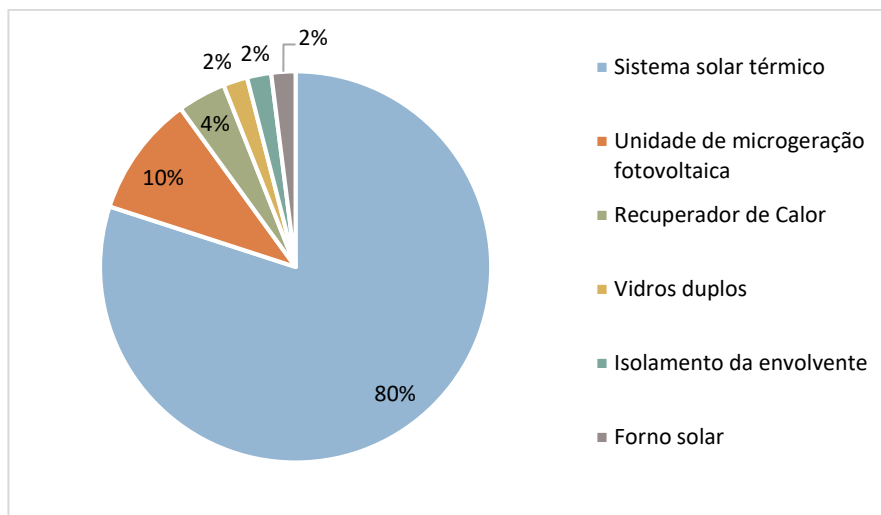


Figura 4.5 - Distribuição dos incentivos por tecnologia

Entre 2006 e 2011, o sistema de incentivos à implementação de sistemas solares térmicos concedido pelo Governo estimulou a procura por estes equipamentos. No entanto, a interrupção destes programas e subsídios, em 2011, contribuiu em grande medida para a perda do interesse dos consumidores em implementar estes equipamentos, tal como comentado por Bartiaux *et al.* (2016).

5. Conclusões

5.1 Síntese e balanço do trabalho desenvolvido

A presente dissertação tinha como objetivo dar um contributo para a promoção da eficiência energética no parque habitacional. Para tal, estipularam-se duas abordagens ao tema: a primeira consistiu em avaliar os potenciais de poupança económicos das medidas de eficiência energética para cada uso final de energia; a segunda visou identificar as motivações, barreiras e oportunidades à adoção de medidas de eficiência energética pelos consumidores.

Inicialmente, o desenvolvimento do capítulo da revisão de literatura foi importante para compreender os padrões de consumo de energia a nível nacional e mundial, bem como as tendências de evolução. Adicionalmente, realizou-se uma síntese das principais políticas e programas na área da eficiência energética a nível nacional, com destaque para a área dos edifícios.

A parte seguinte da revisão de literatura começa por caracterizar o parque edificado do setor residencial e de comércio e serviços. Esta parte permitiu ter uma visão geral dos consumos por uso final de energia e dos equipamentos mais presentes nos edifícios, informações posteriormente usadas na análise aos potenciais de poupança. São também apresentadas as oportunidades e desafios, benefícios e barreiras relativos à eficiência energética nos edifícios. Terminou-se com uma revisão dos principais instrumentos de promoção da eficiência energética.

A primeira tarefa realizada com vista ao cálculo dos potenciais de poupança foi a delineação de um cenário de referência, designadamente através da caracterização dos equipamentos convencionais nos edifícios de habitação e do cálculo das necessidades de energia. Nesta caracterização privilegiou-se o uso de valores harmonizados na literatura e provenientes de estudos de referência para o setor dos edifícios.

Dada a abrangência de medidas possíveis de ser aplicadas, simulou-se a aplicação de diferentes alternativas e analisou-se os potenciais de poupança de energia, emissões e económicos para cada equipamento. Posteriormente foi avaliado a rentabilidade de cada alternativa proposta. Nos sistemas de aquecimento e de preparação de AQS fizeram-se a análise para dois cenários de referência, sendo o primeiro caso o mais comum.

Os resultados obtidos evidenciam que a aplicação das medidas de eficiência energética propostas apresentam poupanças potenciais significativas, sobretudo ao nível da climatização e preparação de AQS.

Por outro lado, na análise económica considera-se que a metodologia seguida prejudicou os resultados e reconhece-se que os resultados não estão em linha com os encontrados na revisão de literatura. As principais justificações relacionam-se com: 1) terem sido usadas médias nacionais para os consumos, que são inferiores aos consumidos por uma família de quatro pessoas; 2) as medidas escolhidas refletirem a melhor tecnologia no mercado, que pode não ser a mais custo-eficaz.

Por medida proposta, na climatização a solução mais custo-eficaz foi a introdução de um ar-condicionado ou de um recuperador de calor em sistemas de lareira aberta. Contudo, no caso da primeira opção, esta pode ter um efeito perverso e resultar num aumento do consumo de energia. Por oposição, as intervenções construtivas permitem reduzir as necessidades primárias de energia para aquecimento do ambiente através da redução das perdas térmicas.

Nos sistemas de preparação de AQS, a solução mais custo-eficaz é a implementação de um sistema solar térmico combinado com a substituição do esquentador, apresentando um período de retorno de doze anos. Embora as bombas de calor sejam a alternativas com ótimo desempenho na redução do consumo de energia, a substituição do gás natural por eletricidade para produção de AQS não se apresenta como uma solução vantajosa. No futuro, quando as baterias de armazenamento domésticas forem uma realidade, esta tendência pode inverter-se.

Nos grandes eletrodomésticos, os resultados obtidos demonstram que a aquisição do equipamento mais eficiente do mercado não representa a opção mais custo-eficaz. Por outro lado, apenas a substituição dos equipamentos do frio apresenta-se como uma oportunidade de investimento no imediato. Os períodos de retorno do capital para estes equipamentos são de 10-13 anos.

Na iluminação, a substituição das tecnologias já descontinuadas (incandescentes e halogéneo) por lâmpadas LED apresenta-se como um investimento bastante rentável, com períodos de retorno inferiores a um ano. A substituição das lâmpadas fluorescentes compactas justifica-se pelo maior tempo de vida das lâmpadas LED.

Na segunda abordagem, a identificação das motivações, barreiras e oportunidades resultou da análise a 374 auditorias realizadas entre dezembro de 2006 e maio de 2016 por estudantes finalistas de cursos de engenharia da Faculdade de Ciências e Tecnologia às suas habitações.

Constata-se que a redução do consumo energético é a razão mais vezes apontada (76 %) para investir em medidas de eficiência energética. Contudo, como a redução do consumo energético pressupõe uma diminuição das despesas com energia, julga-se que esta será a principal motivação dos consumidores. A redução das emissões de GEE, o aumento do conforto e a melhoria do desempenho energético da habitação foram as outras razões identificadas nas auditorias.

As medidas mais comuns propostas são a alteração de comportamentos, a substituição das lâmpadas, substituição dos equipamentos elétricos domésticos e as intervenções construtivas. Pelo contrário, as medidas que visam a substituição dos equipamentos de climatização e a instalação de unidades de microgeração são as medidas menos vezes propostas. No caso das medidas para a área da climatização, este comportamento justifica-se pela utilização destes equipamentos estar reservada a cerca de três meses do ano.

Em relação às barreiras, verificou-se uma predominância de barreiras de natureza económica, principalmente relacionadas com o nível de investimento para implementar todas as medidas propostas e com os elevados períodos de retorno associados a certas medidas. Para este conjunto de barreiras, as medidas mais visadas foram a instalação de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos e as intervenções construtivas.

O número de agentes que influenciam a tomada de decisão é outra das barreiras mais vezes referidas no presente estudo. Este tipo de barreiras configura os casos em que a habitação é arrendada e, principalmente, dos sistemas de condomínios.

As principais oportunidades referidas nas auditorias foram a existência de incentivos financeiros e os equipamentos atuais estarem em fim de vida. A valorização do imóvel e o aumento da resiliência face à volatilidade dos preços de energia foram outras razões invocadas.

No caso particular dos incentivos, a existência destes mecanismos estimulou a adoção de sistemas solares térmicos, entre 2006 e 2011. Por outro lado, a interrupção dos mesmos foi vista como um fator negativo e resultou numa perda de interesse dos consumidores em implementar este tipo de medidas.

Em linhas gerais, as auditorias realizadas demonstraram ser um bom instrumento de informação para os estudantes que as realizaram. Considera-se ainda assim haver lacunas de informação relativamente aos potenciais de poupança económicos das medidas de eficiência energética, bem como dos restantes benefícios identificados anteriormente no capítulo da revisão de literatura.

Por oposição ao sistema de inquéritos por questionário, o formato em que são realizadas as auditorias permite compreender o conhecimento da amostra sobre o tema em questão e, desta forma, identificar áreas de possível intervenção.

Por fim, considera-se que o objetivo proposto para o presente estudo foi cumprido. Em termos de abordagem, a análise às medidas de eficiência energética demonstrou que estas são economicamente viáveis, ainda que seja importante ajustar a escolha para diferentes necessidades de consumo. Este tipo de análise é importante para justificar, perante as famílias e empresas, uma aposta em tecnologias mais eficientes, assim como para perceber que tipo de medidas devem ser apoiadas.

Analogamente, identificar as oportunidades, as motivações e, principalmente, as barreiras à adoção de medidas de eficiência energética é importante na medida em que permite dotar as políticas públicas atuais de melhores meios, tornando-as mais eficazes.

5.2 Principais recomendações

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, bem como todo o trabalho de investigação que antecedeu a sua realização, tornou-se evidente que com as políticas atuais não é possível tirar o máximo proveito da eficiência energética. Como tal, decidiu-se apresentar um conjunto de recomendações para este efeito.

Proposta 1 – Estratégia para a eficiência energética no setor dos edifícios

Embora seja reconhecido que o maior potencial de poupança energética é o oferecido pelos edifícios, a ausência de uma estratégia para o setor dificulta o aproveitamento deste potencial. Atualmente, existe um considerável número de mecanismos que promovem a eficiência energética do lado da procura, nomeadamente as medidas e programas do PNAEE, o PPEC, o

SCE, o FEE e, a nível local, os programas promovidos pelos municípios. Porém, o que se nota é a falta de complementaridade entre estes mecanismos, que faz com que estes estejam a ser aplicados de forma sub-ótima.

Assim, proponho que cada um destes mecanismos tenha os seus objetivos/destinatários bem definidos e que combinem diferentes instrumentos (auditorias, incentivos, empréstimos), desta forma possibilitaria, por exemplo, superar barreiras de diferentes tipos.

A nível operacional, a existência de linhas de financiamento para os projetos, postos de informação e assistência e de um plano de monitorização são fundamentais para o sucesso da estratégia. Os planos de monitorização são de extrema importância pois permitem comparar o custo-eficácia dos programas e informar o público geral dos resultados obtidos.

Proposta 2 – Definir medidas elegíveis pelos programas – o caso do PPEC

De encontro à proposta anterior, também definir as medidas a promover é um aspeto fundamental da estratégia. As medidas a promover devem ser medidas que não estão a ser implementadas devido a uma falha de mercado. Este é um processo para o qual devem ser definidos critérios e que deve ser ajustado à medida que novas tecnologias dão entrada no mercado. Um exemplo de uma tecnologia que no futuro deverá ser promovida são as baterias de armazenamento domésticas.

Pelo contrário, medidas que são viáveis economicamente não devem ser promovidas por estes programas. As lâmpadas LED são um exemplo de uma tecnologia que já atingiu um preço competitivo e, por conseguinte, deve deixar de ser financiada por estes programas. Em alternativa podem ser usados instrumentos regulatórios que proíbem gradualmente a comercialização de tecnologias menos eficientes.

O PPEC é um exemplo de um programa em que isto acontece, na última edição mais de 60 % das medidas promovidas para os edifícios destinavam-se à área da iluminação. Este comportamento justifica-se pelos critérios assumidos privilegiarem medidas com melhor relação custo-benefício. Contudo, nas próximas edições esta deverá ser uma situação a rever.

Proposta 3 – Medidas de incentivos

Uma das conclusões obtidas a partir das análises das auditorias refere-se à importância dos sistemas de incentivos fiscais. A maioria dos incentivos atribuídos a fundo perdido foram usados para reduzir o custo de investimento dos sistemas solares térmicos. Em geral, a existência destes incentivos era do conhecimento do público, o que permitiu que mais pessoas aderissem ao programa.

Atualmente, os Avisos promovidos pelo FEE têm um modo de funcionamento idêntico, os incentivos são atribuídos a fundo perdido em sede de IRS. As diferenças verificam-se ao nível do processo de candidatura: os Avisos estão abertos durante um curto período de tempo; e na dotação orçamental: os Avisos têm uma dotação orçamental baixa o que limita o número de beneficiários. Embora não sejam conhecidos os motivos, a verdade é que os Avisos têm passado despercebido do erário público.

Deste modo, propõe-se que os sistemas de incentivos possuam dotações orçamentais superiores, que estejam abertos durante períodos de tempo mais longos e que possuam um processo de candidatura mais facilitado. O esquema de incentivos pode ainda combinar incentivos não reembolsáveis com reembolsáveis, e ainda variar em função da profundidade da intervenção.

Proposta 4 – Integração do ordenamento do território na política energética

O consumo de energia de um edifício é afetado pelos hábitos de consumo no seu interior, mas também pelas características do espaço exterior. Elementos como a exposição solar ou a exposição a ventos dominantes dependem da forma como é pensado o planeamento urbanístico.

Neste cenário, as políticas de ordenamento adquirem um papel fundamental na gestão eficiente da energia, contribuindo para o equilíbrio entre a ocupação do território e a produção e consumo de energia em áreas urbanizadas.

Como tal, propõe-se que os instrumentos de planeamento atuem sobre as taxas de renovação dos edifícios e que estimulem a produção descentralizada de energia.

5.3 Considerações finais e desenvolvimentos futuros

Aumentar a procura pela eficiência energética, este será um dos desafios que os próximos anos nos reserva no domínio da sustentabilidade dos recursos. Invariavelmente, os investimentos das famílias e das pequenas e médias empresas serão um dos principais motores para o crescimento da procura.

Uma forma de exponenciar estes investimentos consiste em reconhecer e valorizar todos os benefícios da eficiência energética. Na literatura, a maioria dos estudos visa determinar o potencial de poupança de energia ou de melhoria do desempenho energético de um edifício. Pelo contrário, poucos são os estudos que se debruçam sobre os restantes benefícios da eficiência energética, o que pode constituir uma área de investigação futura.

A promoção da eficiência energética depende em grande medida da integração de instrumentos económicos nas políticas públicas. No entanto, como estes são de má aceitação pelos decisores políticos, é fundamental haver mais estudos que avaliem o impacto da introdução destes instrumentos, seja para o crescimento da economia, para a criação de emprego, para a redução do consumo de energia e das emissões associadas.

Alargar a análise das barreiras à adoção de medidas de eficiência energética aos restantes setores é outro estudo com relevância para a promoção da eficiência energética.

No âmbito da dissertação, não foram estudados a substituição de todos os equipamentos presentes nos edifícios residenciais e, particularmente, nos edifícios de comércio e serviços. Também não foi estudado o potencial de poupança associado à introdução de sistemas inteligentes.

Em estudos futuros podem ser incluídos os restantes equipamentos, bem como uma análise do potencial de poupança associada a sistemas combinados (*e. g.* sistemas combinados de AQS e climatização; sistemas inteligentes e climatização; sistemas solares térmicos coletivos).

Como nota final, sugere-se a criação de uma base de dados que permita a recolha de dados concretos e atualizados do parque edificado português, só assim a ciência pode ser colocada ao serviço da sociedade.

Referências

- ADENE. (2015). Energy Efficiency Trends and Policies in Portugal. Disponibilizado pela ADENE - Agência para a Energia website: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/>
- ADENE. (2016). Portal do Sistema de Certificação Energética. Disponível em <http://www.adene.pt/sce/>, consultado a 5 de fevereiro de 2017.
- Almeida, A. De, & Fonseca, P. (2008). Residential monitoring to decrease energy use and carbon emissions in Europe - D9: Report with the results of surveys based on questionnaires for all countries. Disponibilizado pela Universidade de Coimbra website: <http://remodece.isr.uc.pt/>
- Alves, R. P., & Silva, T. (2011). Políticas Públicas de Energia em Portugal (Boletim Mensal de Economia Portuguesa (BMEP) vol. n.º 6). Lisboa, Portugal: Gabinete de Estratégia e Estudos do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento e Gabinete de Planeamento, Estratégia, Avaliação e Relações Internacionais do Ministério das Finanças e da Administração Pública.
- Amador, J. (2010). Produção e Consumo de Energia em Portugal : Factos Estilizados. Boletim Económico do Banco de Portugal, pp 71-86.
- Antunes, P., Santos, R., Martinho, S., & Lobo, G. (2003). Estudo sobre sector eléctrico e ambiente - Relatório Síntese. Lisboa, Portugal: Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- APA. (2008). Tabela dos valores de Poder calorífico inferior, de Factor de Emissão e Factor de Oxidação de CO₂ utilizados no Inventário Nacional de Gases com Efeito de Estufa publicado em 2008. Portal da Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em <http://apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=295&sub2ref=520>, consultado a 19 de junho de 2017.
- APA. (2009). Tabela dos valores de Poder calorífico inferior, de Factor de Emissão e Factor de Oxidação de CO₂ utilizados no Inventário Nacional de Gases com Efeito de Estufa publicado em 2008 - complemento para o combustível Biomassa (madeira) e Valores de Densidade. Portal da Agência Portuguesa do Ambiente Disponível em <http://apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=295&sub2ref=520>, consultado a 19 de junho de 2017.
- APA. (2016). Relatório do Estado do Ambiente 2016. Disponibilizado pela Agência Portuguesa do Ambiente website: https://rea.apambiente.pt/ultima_edicao
- APISOLAR. (2015). Observatório Solar Térmico - 2015. Disponibilizado pelo Associação Portuguesa da Indústria Solar website: <https://aguaquentesolar.com/observatorio/emPortugal/index.asp>
- Barker, A., Billington, S., Clark, M., Lewney, R., & Paroussos, L. (2016). EU energy trends and macroeconomic performance (Deliverable D1 - Study on the Macroeconomics of Energy and Climate Policies). Cambridge, UK: Cambridge Econometrics and E3Modelling.
- Bartiaux, F., Schmidt, L., Horta, A., & Correia, A. (2016). Social diffusion of energy-related practices and representations : Patterns and policies in Portugal and Belgium. Energy Policy, v 88, 413–421.
- Bernardo, J. (2015, dezembro). Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos. Comunicação oral apresentada em RePublic_ZEB. Workshop realizado pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa.
- BP. (2015). BP Statistical Review of World Energy. Portal da BP. Disponível em

<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, consultado em 22 de Setembro de 2016.

BPIE. (2011). Europe's buildings under the microscope: a country-by-country review of the energy performance of buildings [PDF]. Disponibilizado pelo Buildings Performance Institute Europe Website <http://bpie.eu/publication/europes-buildings-under-the-microscope/>

BPIE. (2014). Alleviating fuel poverty in the EU: Investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution [PDF]. Disponibilizado pelo Buildings Performance Institute Europe Website <http://bpie.eu/publication/europes-buildings-under-the-microscope/>

Braubach, M., Jacobs, D. E., & Ormandy, D. (2011). Environmental burden of disease associated with inadequate housing [PDF]. Disponibilizado pela World Health Organization website: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-burden-of-disease-associated-with-inadequate-housing.-summary-report>

Brito, M. C., & Freitas, S. (2016, novembro). NZEB e a produção de energia no edifício. Paper apresentado em 1ª Conferência SEE (Sustentabilidade e Eficiência Energética). Conferência realizada pelo Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa, Lisboa.

Brown, M. A., Chandler, J., Lapsa, M. V., & Sovacool, B. K. (2008). Carbon Lock-In: Barriers To Deploying Climate Change Mitigation Technologies. Tennessee, USA: Oak Ridge National Laboratory.

Bullier, A., & Milin, C. (2013). Alternative financing schemes for energy efficiency in buildings. Em ECEEE summer study proceedings, Cambridge, UK. 795–805.

Cambridge Econometrics (Ed) (2015). Assessing the Employment and Social Impact of Energy Efficiency - Final report (Vol. 1). Cambridge, UK: Cambridge Econometrics.

CE (2010). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Energia 2020 - Estratégia para uma energia competitiva, sustentável e segura.

CE (2011a). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões - Plano de eficiência energética de 2011.

CE (2011b). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões - Roteiro para a Energia 2050.

CE (2011c). Impact Assessment - Accompanying the document Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency and amending and subsequently repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Commission Staff Working Paper.

CE (2014a). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho - Eficiência energética e a sua contribuição para a segurança energética e o quadro político para o clima e a energia para 2030.

CE (2014b). Comunicação da comunicação ao Parlamento Europeu e ao Conselho. Estratégia europeia de segurança energética.

CE (2015a). Energy Union Package - Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank.

CE (2015b). Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro para a rotulagem da eficiência energética e revoga a Diretiva 2010/30/UE - Síntese da avaliação do Impacto.

CE (2016). Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions - An EU

Strategy on Heating and Cooling.

CEDRU. (2015). Avaliação ex ante dos instrumentos financeiros de programas do Portugal 2020: Lote 3 - Instrumentos financeiros para a eficiência energética e gestão eficiente da água e dos resíduos. Lisboa, Portugal: Agência para o Desenvolvimento e Coesão, I. P.

Charlier, D. (2015). Energy efficiency investments in the context of split incentives among French households. *Energy Policy*, v 87, 465–479.

Chegut, A., Eichholtz, P., & Holtermans, R. (2016). Energy efficiency and economic value in affordable housing. *Energy Policy*, v 97, 39–49.

de la Rue du Can, S., Leventis, G., Phadke, A., & Gopal, A. (2014). Design of incentive programs for accelerating penetration of energy-efficient appliances. *Energy Policy*, v 72, 56–66.

DGEG (2013). National plan for increasing the number of nearly zero- energy buildings in Portugal. Disponibilizado pela Direcção Geral da Energia e Geologia website: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/nearly-zero-energy-buildings>

DGEG (2014). Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios. Disponibilizado pela Direcção Geral da Energia e Geologia website: <http://www.dgeg.pt/>

DGEG (2016a). Balanço energético 2015. Portal da Direcção Geral da Energia e Geologia. Disponível em <http://www.dgeg.pt/>, consultado a 18 de setembro de 2016.

DGEG (2016b). Energia em Portugal 2014. Disponibilizado pela Direcção Geral da Energia e Geologia website: <http://www.dgeg.pt/>

Direcção Geral de Energia, & Ministério da Economia (2002). Energia Portugal 2001. Disponibilizado pela Direcção Geral da Energia e Geologia website: <http://www.dgeg.pt/>

Direcção Geral de Energia & Ministério da Economia (2002). Eficiência Energética nos Edifícios. Disponibilizado pela Direcção Geral da Energia e Geologia website: <http://www.dgeg.pt/>

Economidou, M., & Bertoldi, P. (2014). Financing building energy renovations: Current experiences & ways forward [PDF]. Luxembourg: Publication Office of the European Union.

EEA. (2016). Transforming the EU power sector: avoiding a carbon lock-in. Disponibilizado pela European Environment Agency website: <https://www.eea.europa.eu/publications/transforming-the-eu-power-sector>

Energiaia (2011). EnergyProfiler: Perfil Energético Do Setor Residencial. Disponibilizado pela Agência de Energia do Sul da Área Metropolitana do Porto website: <http://www.energiaia.pt/projectos/arquivo>

ENHIS. (2009). Children living in homes with problems of damp. Disponibilizado pelo Environment and Health Information System website: <http://data.euro.who.int/eceh-enhis/Default2.aspx>, consultado a 19 de setembro de 2016.

Erbach, G. (2014). Unconventional gas and oil in North America - The impact of shale gas and oil on the US and Canadian economies and on global energy flows. Brussels, Belgium: European Parliamentary Research Service (EPRS).

ERSE (2016a). Comunicado PPEC 2017-2018. Disponibilizado pela Entidade Reguladora de Serviços Energéticos website: <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/ppec17-18/Paginas/default.aspx>

ERSE (2016b). Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica para 2017-2018 - Avaliação da perspectiva da regulação económica. Disponibilizado pela Entidade Reguladora de Serviços Energéticos website: <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/ppec17-18/Paginas/default.aspx>

18/Paginas/default.aspx

ERSE/DGEG (2016). Relatório ERSE-DGEG de avaliação do PPEC 2017-2018. Disponibilizado pela Entidade Reguladora de Serviços Energéticos & Direcção Geral da Energia e Geologia website: <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/ppec17-18/Paginas/default.aspx>

Eurostat (2016a). Energy prices in the EU in 2015. Portal do Eurostat. Disponível em <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-press-releases>, consultado a 12 de abril de 2017.

Eurostat (2016b). Inability to keep home adequately warm - EU-SILC survey. Portal do Eurostat. Disponível em http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ilc_mdex01, consultado a 19 de setembro de 2016.

Ferreira, M., Almeida, M., & Rodrigues, A. (2016). Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. *Energy and Buildings*, v 133, 724–737.

Filippini, M., Hunt, L. C., & Zorić, J. (2014). Impact of energy policy instruments on the estimated level of underlying energy efficiency in the EU residential sector. *Energy Policy*, v 69, 73–81.

Fragoso, R. (2016). Importância da Certificação Energética de Edifícios. Comunicação oral apresentada em 1ª Conferência SEE (Sustentabilidade e Eficiência Energética). Conferência realizada pelo Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa, Lisboa.

Fragoso, R., & Mateus, P. (2014). Implementation of the EPBD in Portugal - Status in december 2014. Em ADENE - Agência para a Energia, 2016 - Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Featuring Country Reports (pp. 459-470). Disponível em <http://www.epbd-ca.eu/countries/country-information>

Freitas, R. (2014). Sistemas térmicos em edifícios de habitação. Desempenho e contributo para a eficiência energética. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto. Porto.

Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, A. H., Tanishima, S., & Unander, F. (2006). Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. *Energy Policy*, v 34(5), 556–573.

GEOTA. (2013). Reforma Fiscal Ambiental: fiscalidade e incentivos no sector energético - versão preliminar para discussão pública. Disponibilizado pelo Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente website: <http://www.geota.pt/scid/geotaWebPage/defaultCategoryViewOne.asp?categoryId=733>

Goodman, P. S., Galatioto, F., Thorpe, N., Namdeo, A. K., Davies, R. J., & Bird, R. N. (2016). Investigating the traffic-related environmental impacts of hydraulic-fracturing (fracking) operations. *Environment International*, v 89–90, 248–260.

Governo de Portugal. (2014). Portugal 2020 - Acordo de Parceria 2014-2020. Disponibilizado pelo Governo de Portugal website: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/o-que-e-o-portugal2020>

Governo de Portugal. (2015a). Governo aprova instrumentos financeiros para eficiência energética e reabilitação urbana. Disponibilizado pelo Governo de Portugal website: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/aprovados-instrumentos-financeiros-do-portugal-2020-para-a-reabilitacao-urbana-e-a-eficiencia-energetica>

Governo de Portugal. (2015b). MAOTE - Instrumentos financeiros para a eficiência energética e reabilitação urbana. Disponibilizado pelo Governo de Portugal website: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/aprovados-instrumentos-financeiros-do-portugal-2020->

para-a-reabilitacao-urbana-e-a-eficiencia-energetica

Graça, F. (2011). Eficiência Energética em Edifícios de Serviços no Concelho de Almada. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. Almada.

Grilo, J. (2012). Avaliação do Potencial de Poupança de Energia na Habitação em Portugal. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. Almada.

Gruber, E., Plessner, S., Sofronis, I., Lima, P., Rivière, P., & Rialhe, A. (2008). EL - TERTIARY - Monitoring Electricity Consumption in the Tertiary Sector. Munich, Germany: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Gynther, L., Lappillone, B., & Pollier, K. (2015). Energy efficiency trends and policies in the household and tertiary sectors: An analysis based on the ODYSSEE and MURE databases. Disponibilizado pela Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) website: <http://www.buildup.eu/en/practices/publications/energy-efficiency-trends-and-policies-household-and-tertiary-sectors>

Henriques, C. O., & Antunes, C. H. (2012). Interactions of economic growth, energy consumption and the environment in the context of the crisis - A study with uncertain data. *Energy*, v 48(1), 415–422.

Hilke, A., & Ryan, L. (2012). Mobilising investment in energy efficiency: Economic instruments for low-energy buildings. Paris, France: International Energy Agency (IEA).

IEA. (2007). Energy Efficiency Indicators : Essentials for Policy Making.

IEA. (2014). Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency.

IEA. (2015). Energy and Climate Change. World Energy Outlook Special Report.

IEA. (2016a). Energy, Climate Change and Environment: 2016 Insights.

IEA. (2016b). Key world energy trends - excerpt from: world energy balances.

INE. (2012). Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal. Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Estatística, I. P.

INE. (2016a). Indicador do consumo privado (despesa de consumo final) das famílias no território económico por função. Portal do INE. Disponível em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_base_dados&menuBOUI=13707095&contexto=bd&selTab=tab2, consultado a 18 de setembro de 2016.

INE. (2016b). Estatísticas da Construção e Habitação 2015. Disponibilizado pelo Instituto Nacional de Estatística website: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEStipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107827&selTab=tab0&xlang=pt

INE/DGEG. (2011). Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010. Disponibilizado pelo Instituto Nacional de Estatística & Direcção Geral da Energia e Geologia website:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_bo ui=127226704&PUBLICACOESstema=00&PUBLICACOESmodo=2

INE/LNEC. (2013). O parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011. Disponibilizado pelo Instituto Nacional de Estatística & Laboratório Nacional de Engenharia Civil website:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_bo ui=165231362&PUBLICACOESstema=00&PUBLICACOESmodo=2

- IPCC. (2014). Buildings in: Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2004). Economics of energy efficiency. *Encyclopedia of Energy*, v 2, 79–90.
- Kosonen, K., & Nicodème, G. (2009). Taxation papers - The role of fiscal instruments in environmental policy (Working Paper N.º 19). Luxembourg: Office for official publications of the European Communities.
- Leijten, F. R. M., Bolderdijk, J. W., Keizer, K., Gorsira, M., van der Werff, E., & Steg, L. (2014). Factors that influence consumers' acceptance of future energy systems: the effects of adjustment type, production level, and price. *Energy Efficiency*, v 7(6), 973–985.
- Magalhães, S. (2016). The relationship between heating energy use, indoor temperature and heating energy demand under reference conditions in residential buildings. Dissertation to obtain the degree of Doctor of Philosophy in Sustainable Energy Systems, Faculdade de Engenharia - Universidade de Porto/MIT Portugal. Porto.
- McKinsey&Company (2009). Pathways to a low-carbon economy (Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve). Disponibilizado pela McKinsey&Company website: <http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/pathways-to-a-low-carbon-economy>, consultado a 14 de janeiro de 2017.
- Mudgal, S., Lyons, L., Cohen, F., Lyons, R., & Fedrigo-Fazio, D. (2013). Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries, Final Report prepared for European Commission (DG Energy). Paris, France: Bio Intelligence Service.
- Mzavanadze, N., Kelemen, Á., & Üрге-Vorsatz, D. (2015). WP5 Social welfare. Literature review on social welfare impacts of energy efficiency improvements actions. Wuppertal, Denmark: Wuppertal Institute for Climate.
- ODYSSEE-MURE. (2015). Energy Efficiency Country Profile: Portugal. Portal Odyssee-Mure. Disponível em <http://www.odyssee-mure.eu/publications/profiles/>, consultado a 25 de setembro de 2016.
- OMS. (2012). Environmental Health Inequalities in Europe [PDF]. Disponibilizado pela World Health Organization website: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-health-inequalities-in-europe.-assessment-report>, consultado a 18 de setembro de 2016.
- ONU. (2010). Energy for a Sustainable Future - Report and Recommendations. New York, USA: The Secretary-General's Advisory Group on Energy and Climate Change (AGECC), United Nations.
- Paulou, J., Lonsdale, J., Jamieson, M., Neuweg, I., Trucco, P., Maio, P., Warringa, G. (2014). Financing the energy renovation of buildings with Cohesion Policy funding - Technical guidance. Disponibilizado pelo ICF International, Hinicio, CE Delft website: http://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/guides/2014/financing-the-energy-renovation-of-buildings-with-cohesion-policy-funding
- Pereira, A. M., & Pereira, R. M. (2014). Anexo IV - Technical Report for the DGEP Model Results. Disponibilizado pela Comissão for Green Fiscal Reform website: <http://www.portugal.gov.pt/pt/o-governo/arquivo-historico/governos-constitucionais/gc19/os-ministerios/maote/quero-saber-mais/sobre-o-ministerio/consulta-publica-fiscalidade-verde/relatorio-comissao-reforma.aspx>
- PNAEE. (2016). Portal do PNAEE (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética).

Disponível em <http://www.pnaee.pt/pnaee>, consultado a 2 de dezembro de 2016.

Rabaçal, M. (2010). Influência das características do combustível no desempenho energético e ambiental de caldeiras domésticas. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa. Lisboa.

Retail Forum for Sustainability. (2009). Issue Paper on the Energy Efficiency of Stores (Issue Paper N.º 1). Disponibilizado pela Comissão Europeia website: <http://ec.europa.eu/environment/industry/retail/meetings.htm>

Rocha, J. C. (2013). Consumo de Energia e Crescimento Económico em Países Exportadores de Petróleo. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Economia, Universidade da Beira Interior. Covilhã.

Ryan, L., & Campbell, N. (2012). Spreading the net: the multiple benefits of energy efficiency improvements. Paris, France: International Energy Agency.

Santo Padre Francisco. (2015). Carta Encíclica Laudato SI' do Santo Padre Francisco sobre o cuidado da casa comum.

Schleich, J. (2009). Barriers to energy efficiency : A comparison across the German commercial and services sector. *Ecological Economics*, v 68(7), 2150–2159.

Schmidt, C. W. (2011). Arctic oil drilling plans raise environmental health concerns. *Environmental health perspectives*. v 119(3), 116-117.

Sequeira, M. (2016). Potencial de poupança de eletricidade no pequeno comércio e serviços – caso-estudo Telheiras. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. Almada.

Silva, S. M., Mateus, R., Marques, L., Ramos, M., & Almeida, M. (2016). Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal - Energy, economics and environmental life cycle analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v 156, 59–74.

TopTen. (2015). Energy efficiency of White Goods in Europe : monitoring the market with sales data. Disponível em www.topten.eu, consultado a 16 de abril de 2017.

TopTen. (2017). Dishwashers : Testing the energy variability related to different uses Final report. Disponível em www.topten.eu, consultado a 16 de abril de 2017.

Urge-Vorsatz, D., Petrichenko, K., Antal, M., Staniec, M., Labelle, M., Ozden, E., & Labzina, E. (2012). Best Practice Policies for Low Energy and Carbon Buildings [PDF]. Paris, France: d Global Building Performance Network (GBPN).

Valente Rosa, M. J. & Chitas, P. (2009) Portugal: os números [PDF]. Disponibilizado pela Fundação Francisco Manuel Santos website: <https://www.ffms.pt/publicacoes/detalhe/26/portugal-os-numeros>

Wilkinson, P., Smith, K. R., Davies, M., Adair, H., Armstrong, B. G., Barrett, M., ... Chalabi, Z. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: household energy. *The Lancet*, v 374(9705), 1917–1929.

World Bank (2014). Improving Energy Efficiency in Buildings - Mayoral Guidance Note #3 (Knowledge Series 019/14). Disponibilizado pelo Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), World Bank website: www.esmap.org/Energy_Efficient_Cities

Wuppertal Institute (Ed) (2009). Measuring and reporting energy savings for the Energy Services Directive – how it can be done. Wuppertal, Denmark: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.

Anexos

Anexo I – Características dos equipamentos e intervenções

Sistemas de aquecimento

	Equipamento(s) / intervenções	Fonte de energia	Eficiência ¹ η	Período de vida útil (anos)	Invest. ² (€)
Convencionais	Aquecedor elétrico independente	Eletricidade	1,00	15	0
	Lareira aberta	Biomassa	0,15	27	0
Eficientes	Ar-condicionado	Eletricidade	3,20	15	1 418
	Caldeira mural de condensação	Gás natural	0,94	20	2 035
	Recuperador de calor	Biomassa	0,75	17	978
	Salamandra a pellets	Biomassa	0,88	17	3 778
Intervenções construtivas	Isolamento térmico da envolvente	n.a.	n.a.	27	4 700
	Instalação de vidros duplos				2 412
Notas	1. Anexo II 2. Anexo III n. a. – Não aplicável				

Sistema de preparação de AQS

	Equipamento(s)	Fonte de energia	Eficiência ¹ η	Período de vida útil (anos)	Invest. ² (€)
Convencionais	Esquentador antigo	Gás natural	0,68	15	0
	Termoacumulador	Elettricidade	0,80	15	0
Eficientes	Esquentador	Gás natural	0,82	15	360
	Bomba de calor	Elettricidade	4,30	15	2 925
	Caldeira mural de condensação	Gás natural	0,85	20	2 034
	Sistema solar térmico	Gás natural (aux)	0,76	20	1 571
Notas	1. Anexo II 2. Anexo III				

Grandes eletrodomésticos

Equipamento(s)	Classe energética	Consumo anual unitário (kWh/ano)	Invest. (€)	Período de vida (anos)
Frigorífico	Atual	451	0	15
	A+	247	375	
	A++	196	559	
	A+++	147	747	
Arca congeladora	Atual	543	0	15
	A+	329	421	
	A++	238	550	
	A+++	164	950	
Máquina lavar roupa	Atual	242	0	12
	A++	193	338	
	A+++	131	402	
Máquina lavar loiça ¹	Atual	234	0	12
	A++	142	383	
	A+++	131	618	
Máquina de secar roupa	Atual	347	0	12
	A+	290	583	
	A++	238	710	
	A+++	174	1 087	

Notas 1. Assumindo 3x/semana

Iluminação

Tipo de tecnologia	Tecnologia de referência a substituir	Relação de potências¹	Invest. (€)	Período de vida (anos)
LED baixa pressão	Incandescentes	0,15	6	16 ²
	Halogénio	0,20		
	Fluorescentes compactas	0,75		
LED tubulares	Fluorescente T8	0,47	17	20 ³
Notas	1. Anexo II 2. Assumindo 3h/dia 3. Assumindo 5h/dia			

Anexo II – Eficiência dos equipamentos

Portaria n.º 349-D/2013

Caldeiras	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal (η)
	A++ (1)	$\eta \geq 96\%$
	A+ (2)	$96\% \geq \eta > 92\%$
	A	$92\% \geq \eta > 89\%$
	B	$89\% \geq \eta > 86\%$
	C	$86\% \geq \eta > 83\%$
	D	$83\% \geq \eta > 80\%$
	E	$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82$
	$> 10\text{ kW}$	$\geq 0,84$

(1) A temperatura de retorno deverá ser inferior a 50°C (caldeiras a gás) ou 45°C (caldeiras a gasóleo).

(2) A temperatura média da água na caldeira deverá ser inferior a 60°C.

Nota 1: As classes C a F correspondem a aparelhos fabricados antes de 1996.

Nota 2: As caldeiras de potência útil superior a 400 kW deverão evidenciar um rendimento útil superior ou igual ao exigido para aquela potência.

Classe	Unidades com permuta exterior a ar			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas
A	$\text{EER} > 3,20$	$\text{EER} > 3,00$	$\text{COP} > 3,60$	$\text{COP} > 3,40$
B	$3,20 \geq \text{EER} > 3,00$	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$	$3,60 \geq \text{COP} > 3,40$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,20$
C	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,20$	$3,20 \geq \text{COP} > 3,00$
D	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$	$3,20 \geq \text{COP} > 2,80$	$3,00 \geq \text{COP} > 2,60$
E	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$	$2,80 \geq \text{COP} > 2,60$	$2,60 \geq \text{COP} > 2,40$
F	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$	$2,20 \geq \text{EER} > 2,00$	$2,60 \geq \text{COP} > 2,40$	$2,40 \geq \text{COP} > 2,20$
G	$\text{EER} \leq 2,20$	$\text{EER} \leq 2,00$	$\text{COP} \leq 2,40$	$\text{COP} \leq 2,20$

Despacho n.º 15793-E/2013

Tipo de sistema	Eficiência	Idade do sistema	Fator
Resistência elétrica para aquecimento ambiente.	1,00	-	-
Termoacumulador elétrico para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,90	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		> 10 anos	0,90
		> 20 anos	0,80
Esquentador ou caldeira a combustível gasoso ou líquido para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,75	Depois de 1995	0,95
		Até 1995	0,80
Caldeira combustível sólido, recuperadores de calor ou salamandras para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,75	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		> 10 anos	0,90
		> 20 anos	0,80
Sistemas de ar condicionado para arrefecimento ambiente, aquecimento ambiente ou bombas de calor para preparação de AQS.	2,50	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		> 10 anos	0,90
		> 20 anos	0,80

ERSE – PPEC 2017 - 2018

Equipamento eficiente a instalar	Equipamento referência a substituir	Relação de potências entre cenários	Observações
Inc. halógeno	Incandescente descontinuada	0,75	
Inc. halógeno	Inc. halógeno	1,00	
LFC	Inc. halógeno	0,27	
LED BP	Inc. halógeno	0,20	
LED BP	LFC	0,75	
LED BP	Inc. halógeno dicróica 230V	0,13	
LED BP	Inc. halógeno dicróica 12V	0,19	
Semáforos LED (<23W)	Semáforos Incandescentes	0,08	Aplicação em Semáforos. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
Fluorescente T5	Vapor Sódio Alta Pressão	0,94	Balastro ferromagnético por electrónico.
Fluorescente T5	Fluorescente T8	0,64	Balastro ferromagnético por electrónico.
Fluorescente T5	Vapor Mercúrio	0,55	Balastro electrónico por electrónico.
Fluorescente T8+	Fluorescente T8	0,84	
Sódio Alta Pressão	Vapor Mercúrio	0,42	Balastro ferromagnético por electrónico.
Sódio Alta Pressão	Inc. halógeno (projectores)	0,15	Inc. balastro electrónico (VSAP)
Iodetos metálicos	Inc. halógeno (projectores)	0,19	Inc. balastro electrónico (iodetos metálicos)
Iodetos metálicos	Vapor Mercúrio	0,51	Balastro ferromagnético por electrónico.
LED AP	Iodetos metálicos	0,42	Inc. balastro ferromagnético. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
LED AP	Vapor Mercúrio	0,25	Inc. balastro ferromagnético. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
LED AP	Vapor Sódio Alta Pressão	0,50	Inc. balastro ferromagnético. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
LED AP	Vapor Sódio Baixa Pressão	0,79	Inc. balastro ferromagnético. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
LED AP	Inc. halógeno (projectores)	0,09	Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
LED AP	Fluorescente T8	0,35	Inc. balastro ferromagnético. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.
LED tubular	Fluorescente T8	0,47	Inc. balastro ferromagnético. Inclui consideração de direccionalidade na iluminação.

Anexo III – Preços dos equipamentos/intervenções através do *cype*

→ Sistemas de aquecimento do ambiente

Equipamento - Descrição	Unidade	Preço (€)
Unidade interior de ar condicionado para sistema VRV de parede Modelo FXAQ63P "DAIKIN", potência frigorífica nominal 7,1 kW	1	1 418
Caldeira mural de condensação a gás natural para a aquecimento e AQS com potência nominal de 24 kW	1	2 034
Salamandra a pellets, potência térmica nominal de 4,9 a 12,5 kW, com possibilidade de canalização de ar quente através de 2 tubos (não incluídos neste preço) de 8 m de comprimento máximo que permitem aquecer outras dependências	1	3 378
Recuperador de calor fechado a lenha, potência 11,6 kW	1	978

Intervenções construtivas - Descrição	Unidade	Preço (€)
Isolamento térmico e revestimento mineral de fachadas pela sua face exterior formado por uma camada de argamassa termo-isolante	m ²	31
Isolamento térmico pelo interior de coberturas inclinadas, formado por painel rígido de poliestireno expandido de 30 mm de espessura	m ²	6
Vidro duplo standard constituído por vidro interior e exterior Float de 4 mm	m ²	40
Janela de PVC, duas folhas de batente com abertura para o interior, dimensões 1100x1100 mm	1	342

→ Sistemas de preparação de AQS

Equipamento - Descrição	Unidade	Preço
Esquentador instantâneo a gás natural com caudal de de AQS de 2,5 a 6 l/min	1	360
Coletor solar térmico por termofissão para instalação individual sobre cobertura inclinada com superfície útil de 1,99 m ²	1	1 571
Bomba de calor para produção de AQS, ar-água, para instalação no interior, potencia calorífica nominal de 1,5 kW, COP = 4,3, com depósito de 270 litros	1	2 925
Caldeira mural de condensação a gás natural para a aquecimento e AQS com potência nominal de 24 kW	1	2 034